La paille matière première

Recherche APROPAILLE

Vers une reconnaissance de la paille comme matériau isolant dans la construction

- Vadémécum 1 -



Avec le soutien de Wallonie

aPROpaille

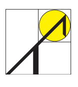
vers une reconnaissance de l'usage de la paille comme matériau isolant dans la construction

La paille - matière première

Vadémécum issu de la recherche « aPROpaille » - Appel à projet « ERable », sur base d'une subvention de la Région Wallonne dans le cadre d'un programme de recherche d'intérêt général.

Partenaires





UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
ARCHITECTURE & CLIMAT

DE HERDE André, Professeur
EVRARD Arnaud, Dr. Ingénieur Architecte
ROUCHE Sylvie, Infographiste



INSTITUT DE CONSEIL ET D'ÉTUDES
EN DÉVELOPPEMENT DURABLE (ICEDD)

BIOT Benjamin, Architecte
KEUTGEN Gauthier, Ingénieur Civil Électricien



UNIVERSITÉ DE LIEGE (GeMME)

COURARD Luc, Professeur
LOUIS Arnaud, Ingénieur Civil des constructions



UNIVERSITÉ DE LIÈGE -
GEMBLOUX (GxABT - UMC)

LEBEAU Frédéric, Professeur
LOUIS Arnaud, Ingénieur Civil des constructions



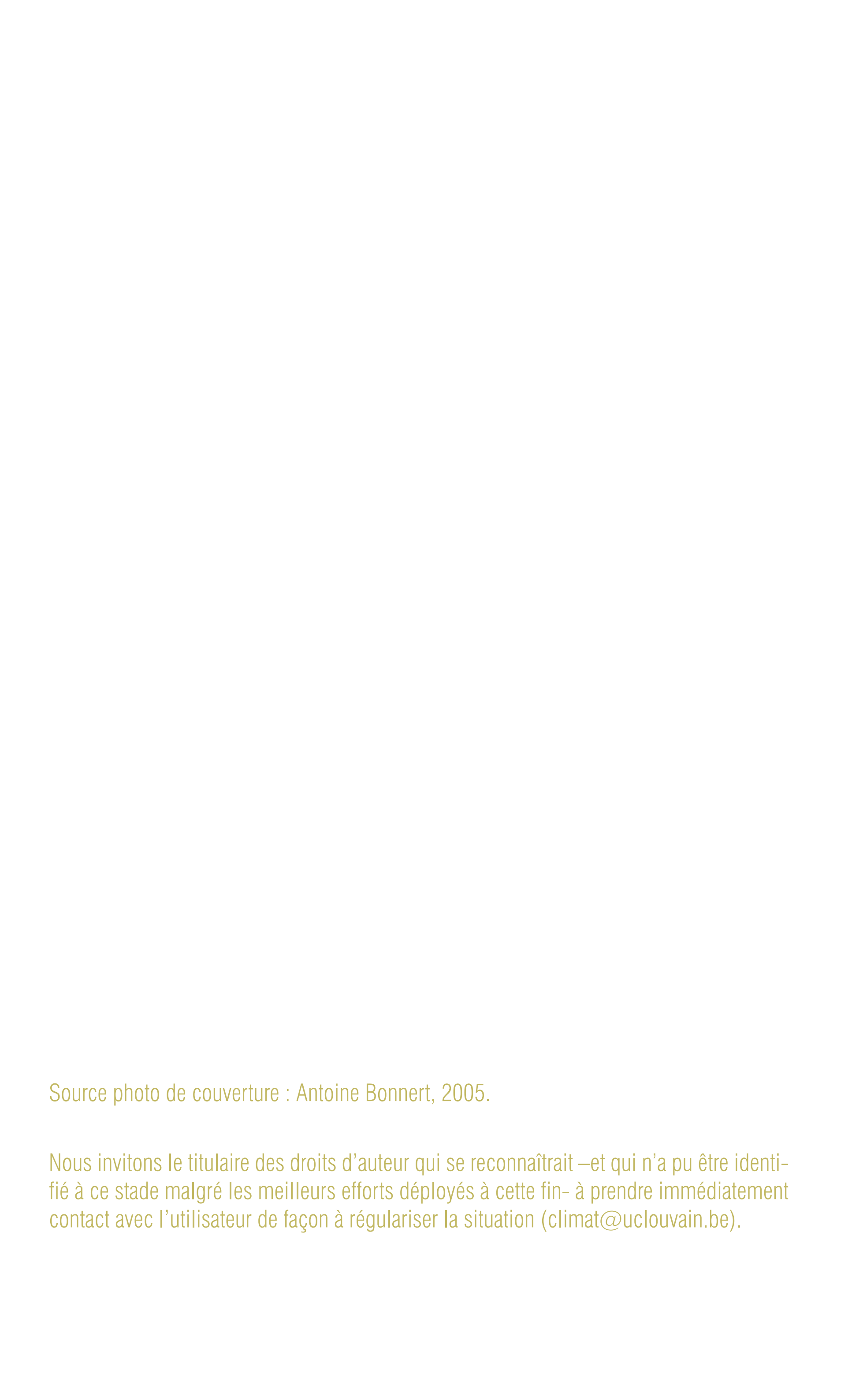
PAILLE-TECH SCRL

BONNERT Antoine, Architecte

Avec le soutien de :



Table des matières



Source photo de couverture : Antoine Bonnert, 2005.

INTRODUCTION

En novembre 2011, un consortium rassemblant l'Université catholique de Louvain (Architecture et Climat), l'Université de Liège (GeMMe et UMC), l'Institut de Conseil et d'Études en Développement Durable (ICEDD) et la jeune entreprise Paille-Tech est formé autour du projet de recherche « aPROpaille » » financé par la DGO4 (Direction générale opérationnelle de l'Aménagement du territoire, du Logement, du Patrimoine et de l'Énergie) dans le cadre du programme ERable, organisé par le Service Public de Wallonie (DGO4 et DGO6, Direction Générale Opérationnelle de l'Économie, de l'Emploi et de la Recherche). Ce projet très complet a permis de déterminer les caractéristiques et performances des matériaux « terre » et « paille », de réaliser des simulations de comportement hygrothermique des parois en paille, de les comparer à des monitorings de bâtiments existants en paille, de réaliser une analyse de cycle de vie (ACV) de ce type de paroi… Outre la réalisation d'une plateforme Internet (www.apropaille.be) sur la filière belge, les principaux résultats de cette recherche ont été rassemblés fin 2015 dans trois vadémécums à destination d'un large et varié. Ces vadémécums, dont le présent document en est la première partie, ont pour but d'offrir à tout un chacun une information rigoureuse, claire et compréhensible, des avancées récentes de ce domaine pour favoriser le développement de la filière de la paille utilisée comme matériau isolant dans la construction.

Afin de permettre aux acteurs du monde de la construction de s'approprier les connaissances relatives à ce matériau, ce vadémécum s'intéressera au ballot de paille en tant que matière première. D'où vient le ballot de paille ? Comment est-il produit ? Quelles sont les dimensions disponibles ? Comment identifier la céréale à la base du ballot de paille ? Comment obtenir un ballot de qualité pour la construction ? La paille est-elle une

ressource inépuisable ? ... A la lecture de ces quelques pages, le lecteur sera invité à découvrir le ballot de paille en tant que produit agricole avant qu’il ne devienne un matériau de construction.

HISTORIQUE TECHNIQUE

L'apparition du premier ballot de paille fut une révélation pour les acteurs de la construction au 19ème siècle. Le présent chapitre aura pour rôle de retracer les événements donnant naissance aux premiers ballots de foin et paille. Un retour aux sources permettant de comprendre d'où vient le ballot et comment il était produit.

LE BALLOT : UN HÉRITAGE AMÉRICAIN

Les premiers pas d'une technologie qui s'avèrera être révolutionnaire pour le monde agricole vinrent des États-Unis d'Amérique. C'est en effet du continent américain que nous viennent les premières photographies des presses agricoles stationnaires, généralement nées de l'esprit inventif d'agriculteurs locaux et adaptées à l'échelle industrielle et la production de masse par des entreprises implantées sur le territoire. Il est difficile de dater avec précision l'apparition de la première presse agricole. Les premiers documents textes et graphiques permettent cependant de cibler la seconde moitié du 19e siècle comme la période pendant laquelle les presses agricoles connurent un développement conséquent et une utilisation croissante.



Fig. 1 : Un exemple des premières presses agricoles stationnaires - 1908. Les rendements de l'époque étaient excessivement mauvais ; il fallait compter plusieurs heures pour la réalisation d'un ballot contre 1 à 2 minutes à peine pour les modèles actuels. (Source : http://www.cardington-ohio-heritage.com/)

Les premiers modèles étaient stationnaires, placés à proximité d'un tas de paille ou foin en vrac destiné à l'alimenter, et étaient généralement actionnés par un moteur à vapeur indépendant. Un piston compressait la marchandise en minces galettes de tailles plus ou moins régulières qui, une fois assemblées dans le canal de compression formaient un ensemble homogène de plus grande dimension. Cet ensemble de galettes était ensuite noué manuellement en « paquet » par l'utilisation de deux fils de fer pour les premiers modèles, puis par l'utilisation de ficelles, très certainement en sisal pour les modèles suivants. Il en résultait un « bloc » de fibres végétales de forme parallélépipédique plus communément appelé aujourd'hui

un « ballot ». Les rendements de l'époque étaient excessivement mauvais ; il fallait compter plusieurs heures pour la réalisation d'un ballot contre 1 à 2 minutes à peine pour les modèles actuels. Cependant, la manutention du fourrage se retrouvant considérablement améliorée, les recherches continuèrent afin d'optimiser ces premières presses.

Au fil des années, des modèles de plus en plus performants virent le jour. De l'automatisation de l'alimentation en marchandise jusqu'à l'usage de noueurs automatiques en passant par une source d'énergie plus importante, de plus en plus d'entreprises se créent pour mettre sur le marché leur propre version de la presse agricole.

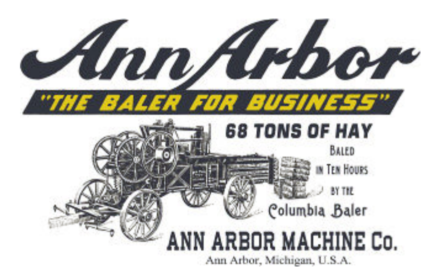


Fig. 2 : Une publicité de « Ann Arbor » pour une presse agricole stationnaire diffusée dans la première partie du 20e siècle. (Source : shirtyeahmichigan.com).

Aujourd'hui encore, il existe près d'une dizaine d'entreprises actives dans le développement de presse agricole. Les performances ont cependant considérablement évolué ainsi que la taille et le format des ballots produits.

LE BALLOT : UN MATÉRIAU DE CONSTRUCTION

Bien que le ballot de paille soit un bien essentiellement destiné au monde agricole, il fut rapidement considéré comme un produit polyvalent et riche en ressources. C'est, une fois de plus, sur le continent américain que l'idée de le considérer comme un matériau de construction est apparue.

Nous sommes dans le milieu du 19e siècle dans la région des « Sand-Hills » au Nebraska. Comme son nom l'indique, cette région est abondamment sableuse et connue pour ses plaines désertiques propices aux grandes cultures de céréales mais n'offrant aucun espace vert digne de ce nom. Les arbres, et donc le bois de construction, se font extrêmement rares, donc coûteux, au point de rendre impossible la construction d'abris

saisonnier pour les autochtones. Selon certains textes, la réalisation de fondation pour les ossatures bois traditionnelles de l'époque fut même problématique de par la nature peu cohésive des sols sableux.



Fig. 3 : Vue des « Sand Hills », Nebraska - États-Unis (Source : thesustainablehome.net).

Avec l'apparition des premières presses agricoles, les ballots produits se présentèrent rapidement comme une alternative intéressante aux matériaux de constructions traditionnels. Empilés en quinconce tels des blocs et compressés entre une lisse basse et une lisse haute, ils permirent la construction de volume simple en un temps record et pour un coût réduit. L'utilisation d'enduit à base de terre locale permit de renforcer l'aspect structurel de ce mode constructif.



Fig. 4 : Simonton House, une des premières constructions en paille selon la technique « Nebraska » -1908. (Source : Lacinski & Bergeron).

D'un besoin de se loger, naquit la technique « Nebraska » et les premiers pas de la construction en ballot de paille (et parfois même de foin) qui, au fil des années, connaîtra un envol remarquable et de nombreuses évolutions.

LA PAILLE, MATIÈRE PREMIÈRE

Le ballot de paille est, avant tout, un produit agricole issu de la culture de céréales. Sa production nécessite de respecter plusieurs étapes toutes aussi importantes les unes que les autres. Les techniques de production et de récolte étant variées, il n'est pas toujours aisé pour une personne extérieure au monde agricole d'en cerner le fonctionnement voire l'utilité. Ce chapitre a donc pour but de présenter de manière synthétique les modes de culture, les céréales les plus répandues en Belgique et les outils utilisés tout au long du processus de récolte et production du ballot de paille.

INTRODUCTION

Depuis de nombreux siècles, l'agriculture a fourni à l'Homme les ressources alimentaires nécessaires à son développement. Aujourd'hui, la culture des céréales représente 34 % de la surface cultivable en Belgique avec une production de plus de 3 700 000 tonnes de grains et pailles en 2011[1]. Se pliant aux fluctuations du marché, des infrastructures voient le jour à travers le territoire, permettant le stockage de quantités de plus en plus importantes. La gestion de ces stocks permet alors de tirer le meilleur prix des marchandises sur le marché international dans le courant de l'année suivante.

L'agriculture se retrouve ainsi dirigée par un facteur purement économique contraignant les agriculteurs à exploiter des surfaces de plus en plus grandes et à produire des quantités de plus en plus importantes. Ces impératifs se traduisent la plupart du temps par un usage intensif de produits de synthèse ; régulateurs de croissance évitant la verse, fongicides luttant contre le développement de champignons nocifs pour la plante, pesticides pour préserver la plante des dégâts, parfois catastrophiques, causés par des insectes indésirables,… Tant de produits pouvant se révéler, dans certains cas, être nocifs pour la santé de l'Homme et celle de son environnement, mais malheureusement nécessaires pour garantir les rendements attendus par un marché de plus en plus concurrentiel.

Conscients des conséquences de leurs pratiques sur l'environnement, certains agriculteurs développèrent des techniques culturales adaptées à une diminution (voire une suppression) des produits de synthèse. C'est ainsi que des méthodes d'agriculture « raisonnée », usant de méthodes de production non nocives pour l'environnement ou encore d'agriculture dite « biologique » (la lutte contre les parasites ou autres maladies se fait mécaniquement et non chimiquement) virent le jour.

Mais la sensibilisation des agriculteurs ne s'est pas arrêtée là. En effet, les pesticides ne sont pas les seuls facteurs à avoir un impact notable sur la conservation des propriétés intrinsèques des sols. Les méthodes culturales (le type de travail du sol) jouent également un rôle sur la qualité des sols. Le sujet étant relativement sensible et l'objet de cette recherche ne portant pas directement sur ce sujet, le chapitre suivant se limitera à

1. SPF Economies « 2011 : Estimation définitive de la production des cultures agricoles », productions de grains et paille confondues.

présenter le principe de chacune d'entre elles de manière objective et sans émettre d'avis quant à leur bien-fondé.

LES MÉTHODES CULTURALES

La production de ballot de paille se décline en plusieurs scénarios. Chacun d'entre eux peut s'inscrire dans une méthode culturale spécifique. A ce jour, il est possible d'identifier trois grandes méthodes culturales au sein d'une agriculture en constante évolution.

L'agriculture dite «traditionnelle»

Elle hérite de traditions plus anciennes et repose sur un travail lourd du sol. Après chaque récolte, la terre est retournée lors du labour. Sur ~ 30 cm, la terre est mélangée et aérée. S'en suit un travail plus léger destiné à casser les amas de terre plus volumineux puis à rendre la terre plus fine en surface pour l'implantation des semis. Cette technique est parfois critiquée à cause de l'utilisation du labour, travail long et très gourmand en consommation de carburant. De plus, l'outil utilisé, la charrue, a tendance à engendrer ce que l'on appelle une «semelle de labour». Cette semelle est le résultat d'un compactage de la terre par l'outil, en profondeur. Le sol est ainsi de plus en plus dur, rendant difficile le travail d'aération et de mélange de la terre réalisé par les vers de terre.



Fig. 5 : La charrue utilisée pour le labour (Photographie : B. Biot - ICEDD).

Bien que cette technique soit fortement répandue de par les habitudes et traditions, elle laisse petit à petit la place à des techniques de travail plus légères pour le sol.

L'agriculture dite «de conservation» en travaux superficiels

Généralement appelée «TCS» pour Techniques Simplifiées ou encore Technique de Conservation des Sols, elle consiste globalement à limiter, voire éradiquer, les travaux lourds du sol et à favoriser des rotations de cultures performantes. Forts d'une volonté de réduire l'impact économique et environnemental de ces travaux lourds, certains agriculteurs se sont tournés vers une agriculture de conservation. Celle-ci se traduisant par la mise en place d'un travail léger du sol, en surface, sur plus ou moins 15 cm. Le labour est ainsi supprimé, laissant place à des outils à disques ou à dents qui travailleront moins profondément et plus localement (à l'endroit où la graine sera implantée). Cette technique s'allie parfois avec une réduction des volumes de produits phytosanitaires généralement utilisés. On parle alors de traitements à «bas volumes».



Fig. 6 : Le semoir Horsch Pronto 4 DC, adapté aux semis en TCS. Après un travail léger de surface, ce semoir permet de semer la nouvelle culture.
(Source : www.horsch2.com).

De par l'économie de moyens que cette technique semble représenter, elle a tendance à se répandre et plus particulièrement chez les agriculteurs sensibilisés à la problématique du respect de l'environnement, de la qualité des sols et, plus globalement, au développement durable.

L'agriculture dite «de conservation» en semis direct

Le semis direct est une technique largement pratiquée aux États-Unis où le climat permet d'implanter la nouvelle culture directement après la récolte

et sans (ou très peu de) travail intermédiaire via un outillage spécifique. Un semoir à disques (ou à dents) est utilisé pour implanter les semences de manière plus adaptée qu'avec un semoir conventionnel. En un seul passage, cet outil ouvre le sol localement, dépose la graine de la culture et un engrais solide puis referme la ligne de semis.

Cette pratique tend à arriver timidement en Belgique mais ne s'applique pas exactement comme aux États-Unis. En effet, de par la configuration du climat Européen, la culture ne peut être implantée directement après la récolte. L'agriculteur utilise alors ce qu'on appelle un « couvert végétal », consistant en l'implantation d'un mélange végétal (avoine, colza, …) après la récolte et destiné à diminuer ou retarder le développement d'adventices. Par la suite, la culture suivante pourra être semée sur le couvert détruit qui lui offrira alors la protection et la matière organique nécessaire à son développement.

Le semis direct est une technique qui tire parti de la qualité du sol non soumis aux travaux lourds. La sauvegarde de la faune locale participant à l'activité biologique du sol est un atout souvent mis en avant par les défenseurs de ce mode de culture.



Fig. 7 : Le semoir « Semeato 300 » dédié au semis direct. (Source : Gassler-semis direct).



Fig. 8 : Une culture de pois implantée dans la ligne de semis sous couvert végétal (matière organique en dépôt de part et d'autres de l'ouverture). (Source : Gassler-semis direct).

Bien qu'il permette des économies d'échelle en termes d'outillage, de main d'œuvre et de carburant, le semis direct n'est pas encore très répandu en Belgique de par la réticence des agriculteurs à changer radicalement leurs

méthodes de travail et l'incertitude quant à l'évolution des rendements sur le court terme de ce type de culture.

Le semis direct représente une réelle avancée en termes d'impacts économiques et environnementaux par rapport à l'agriculture traditionnelle. En effet, la quantité de travaux est considérablement réduite (plus de travaux lourds du sol) jusqu'à se limiter à un scénario unique de type « semis-traitement-récolte » sans étapes intermédiaires. Outre l'impact économique de ces pratiques (économies de moyens, de carburant, de main d'œuvre,…) il s'en ressent, sur le long terme, une évolution dans la qualité de la composition du sol.

Enfin, la philosophie du semis direct s'alliant généralement à une responsabilisation de l'agriculteur du point de vue environnemental, ce dernier aura également tendance à revoir les autres étapes de son travail afin d'en alléger les impacts environnementaux. Ainsi, les traitements ayant recours aux produits phytosanitaires peuvent se faire en bas-volume afin d'en limiter l'usage.

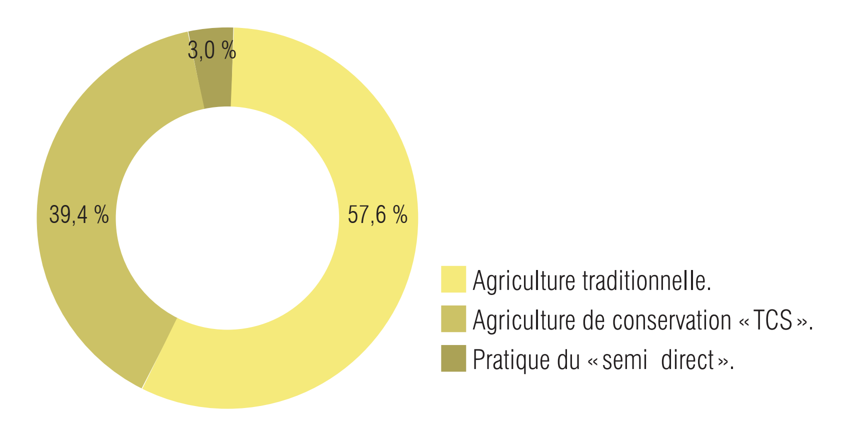


Fig. 9. Répartition des pratiques culturales en Belgique.
(Source : Enquête publique dans le cadre du projet « aPROpaille » - A titre informatif).

LES CÉRÉALES

La production de céréales est fort répandue en Belgique et se manifeste par la culture de plusieurs types. Le blé tendre et l'orge d'hiver sont les plus répandues, mais on rencontre encore très souvent d'autres céréales comme l'épeautre, l'avoine, etc. Très connues du monde agricole, elles sont plus difficiles à identifier par un non-initié. Ci-dessous, les céréales les plus cultivées en Belgique et susceptibles d'être utilisées dans la filière « construction en paille » sont présentées par l'intermédiaire de fiche d'identification présentant des informations générales et des données moyennes réalisées sur les années 2007 à 2012. Cette présentation succincte doit permettre à toute personne d'identifier les céréales présentes dans nos campagnes au moment des moissons.

Le blé tendre





- Production moyenne annuelle Belge (t/an) : 1 722 684
- Rendement moyen annuel Belge (t/Ha) : 8,6
- Production moyenne annuelle Belge (t/an) : 823 174
- Rendement moyen annuel Belge (t/Ha) : 4,1
- Surface moyenne annuelle Belge (ha/an) : 200 220

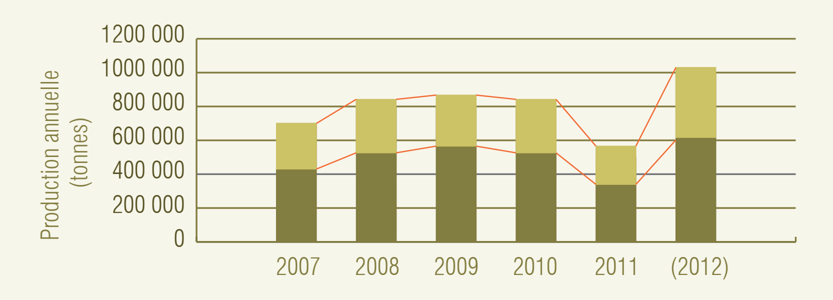
Description

Appelé également « froment d'hiver », « blé fourrager » ou encore « blé panifiable » il représente la plus grande culture de céréales en Wallonie. Il se reconnait à son épi court non garni. On différencie le blé « dur » du blé « tendre » (froment) de par sa provenance. Le blé dur est généralement cultivé dans des régions chaudes et sèches (ex : sud de la France) et principalement utilisé dans la chaîne alimentaire (pâtes, semoules, pain, …) à la différence du blé tendre qui est principalement valorisé dans l'alimentation animale. Peu avant la récolte, l'épi a tendance à se courber par rapport à la tige (voir photo ci-dessus) sous l'effet du poids des grains, arrivés à maturité. Sa récolte a lieu dans la deuxième partie de l'été, dans le courant du mois d'août.

Usage courant

Selon la qualité du grain (teneur en protéines), il sera valorisé dans l'alimentation humaine pour l'obtention de farine panifiable (boulangerie). Si la qualité du grain s'avère moins bonne, c'est la filière animale qui en bénéficiera en tant que nourriture pour le bétail, ce qui est le cas la plupart du temps.

Évolution de la quantité de paille de 2007 à 2012 (en Belgique (clair) et en Wallonie (foncé)) :



L'orge d'hiver





- Production moyenne annuelle Belge (t/an) : 359 056
- Rendement moyen annuel Belge (t/Ha) : 8,2
- Production moyenne annuelle Belge (t/an) : 164 674
- Rendement moyen annuel Belge (t/Ha) : 3,7
- Surface moyenne annuelle Belge (ha/an) : 43 937

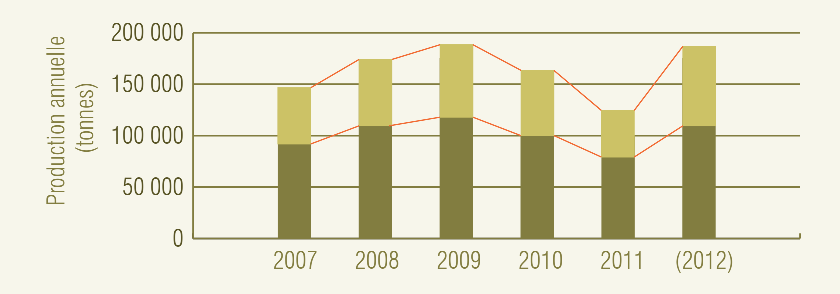
Description

Appelée également « escourgeon », l'orge d'hiver est la deuxième céréale la plus cultivée en Belgique. Elle se reconnait très facilement aux longues barbes situées dans le prolongement de l'épi. Elle n'est pas à confondre avec le seigle, elle aussi munie de barbes de moindre longueur. Tout comme le blé, l'épi de l'orge a lui aussi tendance à se courber sous le poids des grains. Sa récolte se fait généralement dans le courant du mois de juillet, avant le blé.
La paille d'orge est souvent reconnaissable à sa couleur jaune vif et à son aspect plus lisse que la paille de froment. Ce côté lisse caractéristique de l'orge est parfois critiqué par les acteurs de la construction en paille en raison des difficultés à maintenir la barbotine en place sur ce type de paille. Certains agriculteurs ont également témoigné de la difficulté de réaliser des ballots à haute densité à base d'orge, l'aspect lisse de la paille créant un glissement important du ballot dans le canal de compression.

Usage courant

Principalement valorisée dans la filière animale en tant que nourriture. On distingue également l'orge « brassicole » cultivée pour la fabrication de la bière.

Évolution de la quantité de paille de 2007 à 2012 (en Belgique (clair) et en Wallonie (foncé)) :



L'ÉPEAUTRE





- Production moyenne annuelle Belge (t/an) : 72 412
- Rendement moyen annuel Belge (t/Ha) : 7
- Production moyenne annuelle Belge (t/an) : 43 716
- Rendement moyen annuel Belge (t/Ha) : 4,2
- Surface moyenne annuelle Belge (ha/an) : 10 381

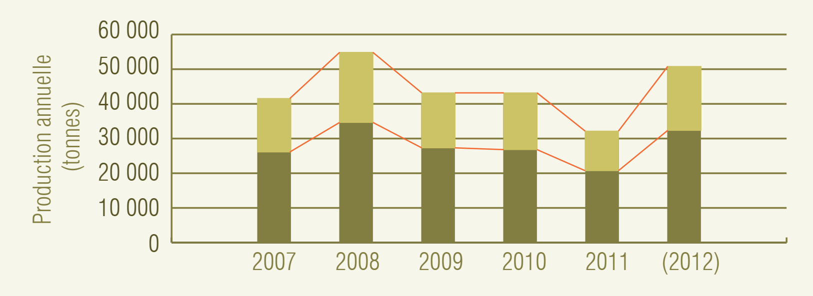
Description

Reconnaissable de par son épi rigide aux couleurs brunes et orangées, l'épeautre (appelée est également « grand épeautre » pour la variété illustrée) est cultivée en plus petite quantité que le blé et l'orge mais se trouve encore facilement dans nos campagnes. Le grain est contenu dans une enveloppe rigide qui est généralement toujours présente lors de la livraison de la marchandise par l'agriculteur. Sa récolte a lieu généralement peu après le blé tendre.

Usage courant

Se distingue pour un usage double selon sa composition ; soit en filière animale pour l'alimentation, soit dans la chaine alimentaire humaine pour la production de pain.

Évolution de la quantité de paille de 2007 à 2012 (en Belgique (clair) et en Wallonie (foncé)) :



L'avoine





- Production moyenne annuelle Belge (t/an) : 24 829
- Rendement moyen annuel Belge (t/Ha) : 5,5
- Production moyenne annuelle Belge (t/an) : 14 567
- Rendement moyen annuel Belge (t/Ha) : 3,3
- Surface moyenne annuelle Belge (ha/an) : 4 348

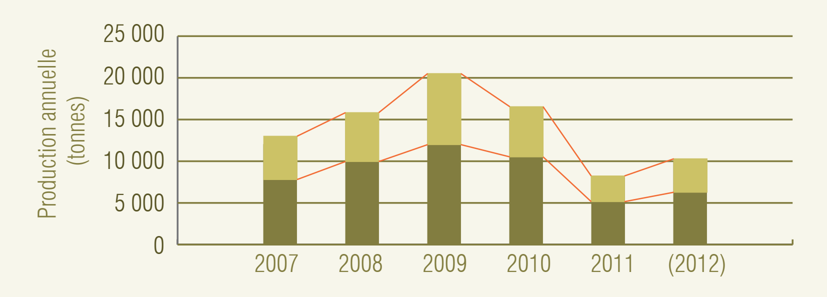
Description

Facilement identifiable de par sa morphologie, l'avoine est une des seules céréales qui ne présente pas d'épis bien distincts. En effet, les grains sont contenus dans des enveloppes indépendantes les unes des autres et réparties sur la partie supérieure du plant. L'avoine est ainsi facilement identifiable dans nos campagnes et se caractérise également par une paille très fine. Sa récolte a généralement lieu dans le courant du mois d'août.

Usage courant

Principalement utilisée dans la filière animale pour la nourriture. De par le faible prix de ses semences, on la retrouve également comme CIPAN (Culture Intermédiaire Piège à Nitrates) dans les campagnes.

Évolution de la quantité de paille de 2007 à 2012 (en Belgique (clair) et en Wallonie (foncé)) :



Le seigle





- Production moyenne annuelle Belge (t/an) : 2 480
- Rendement moyen annuel Belge (t/Ha) : 4,9
- Production moyenne annuelle Belge (t/an) : 1 781
- Rendement moyen annuel Belge (t/Ha) : 3,5
- Surface moyenne annuelle Belge (ha/an) : 517

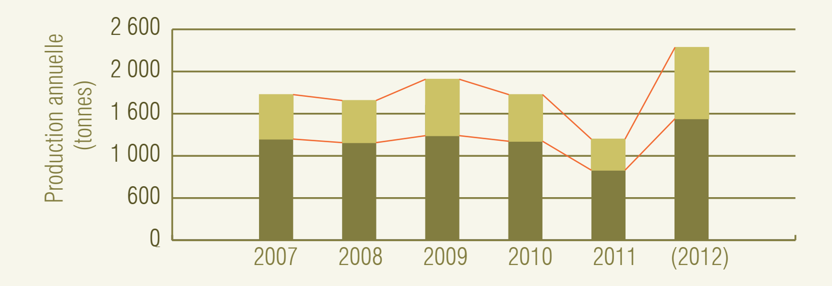
Description

Le seigle est assimilable à l'orge de par la présence de barbes sur ses épis. Il est cependant facilement différenciable des autres céréales de par la hauteur impressionnante de son plant (jusqu'à 2 mètres de haut). Avec des brins pouvant atteindre un diamètre de 10 mm, la section des pailles de seigle est supérieure à celles généralement rencontrées

Usage courant

Parfois utilisé pour la production de pain, le seigle est également valorisé comme culture intermédiaire chez certains agriculteurs. Cette culture est alors détruite et sert de matière organique pour la croissance de la culture suivante.

Évolution de la quantité de paille de 2007 à 2012 (en Belgique (clair) et en Wallonie (foncé)) :



LES TECHNIQUES DE PRODUCTION DU BALLOT DE PAILLE

Durant la période qui couvre les semis jusqu'à la récolte, les travaux agricoles sont relativement peu nombreux et ne sont généralement pas remarqués par les personnes extérieures à ces activités. Cependant, une fois l'été arrivé, c'est un véritable ballet de machines agricoles qui envahissent routes et champs pour une des plus grosses activités agricoles de l'année ; les moissons. Cette période de l'année est difficile à rater tant les travaux sont diversifiés et requièrent des machines de tous genres. Pour le tout public s'intéressant un minimum à ce moment agricole unique, il n'est pas évident d'identifier ces machines et d'en comprendre l'utilité dans tout le processus de production du ballot de paille. A quoi sert un andaineur ? Comment fonctionne une moissonneuse-batteuse ? Quelles sont les dimensions disponibles pour les ballots ? Ce chapitre a pour but de répondre à ce type de question.

La récolte de la paille

Les moissonneuses-batteuses

Une moissonneuse-batteuse est un engin de récolte motorisé destiné à séparer les grains de la paille. Suite à cette séparation, elle permet le stockage temporaire des grains et dépose la paille en andain (bande continue de paille en vrac) après son passage. Cet engin automoteur est séparé en deux éléments distincts.

La barre de coupe



Fig. 10 : Barre de coupe de la moissonneuse.
(Photographie : B. Biot - ICEDD).

La barre de coupe est composée, à l'avant de sa base, de sections de coupe soumises à un rapide mouvement de va et vient latéral. Ce mouvement permet de couper le plant de céréales et de le séparer de sa base racinaire. Un élément cylindrique rotatif appelé le «rabatteur» est utilisé pour rabattre le plant vers une vis sans fin qui, à son tour, entraine la marchandise vers le convoyeur, élément de liaison entre la barre de coupe et la moissonneuse-batteuse en elle-même.

De nos jours, les barres de coupes sont disponibles en de multiples largeurs (de 4 mètres à plus de 10 mètres). Dans une optique de production de ballot de paille de qualité, il est plutôt recommandé de privilégier les faibles largeurs de coupe. En effet, plus la barre de coupe de la moissonneuse sera petite, plus l'andain laissé derrière elle sera également petit et sèchera rapidement. En cas de pluie, il ne sera donc pas nécessairement requis de retourner la paille, travail abîmant sa structure. La dimension réduite de l'andain assure également une bonne ventilation et une bonne exposition au soleil et au vent, paramètres qui favorisent un meilleur séchage de la paille.

Des largeurs de coupe dépassant les 5,20 mètres ont tendance à former des andains larges et hauts empêchant le cœur de l'andain de sécher correctement. De plus, sa taille imposante ne facilitera pas le passage ultérieur d'un tracteur et de la presse (la paille peut être accrochée par le châssis du tracteur, les éléments des relevages voire même le timon de la presse dans certains cas).

Le système de battage automoteur



Fig. 11 : Moissonneuse-batteuse : le système de battage automoteur. (Photographie : B. Biot - ICEDD).

La partie automotrice de la moissonneuse-batteuse reprend toutes les fonctions principales ; le poste de commande, le système de séparation et nettoyage, la partie technique (moteur, centrale hydraulique, …), le système de stockage et de déchargement. Via le convoyeur, la marchandise traverse toute la moissonneuse-batteuse dans laquelle le grain est séparé de la paille et stocké dans la trémie (située en partie supérieure de l'engin, derrière la cabine) tandis que la paille est acheminée vers l'arrière de la machine où elle est soit déposée en andain soit broyée et épandue sur le sol.

Suite à cette description, le fonctionnement d'une moissonneuse semble relativement simple. Elles se déclinent pourtant en de multiples modèles aux performances diverses. Les technologies développées le sont toutes dans un souci d'amélioration du débit de chantier tout en conservant la meilleure qualité possible tant pour les grains que pour la paille. La moissonneuse-batteuse a donc un rôle crucial à jouer dans la qualité de la fibre d'un ballot de paille, bien avant celui joué par la presse.

Chaque constructeur de moissonneuse dispose de fonctionnalités différentes, mais tous se basent sur des principes de séparation du grain et de la paille similaires. Trois systèmes de séparation sont généralement mis en avant.

Le système « batteur et secoueurs » ou « conventionnel »

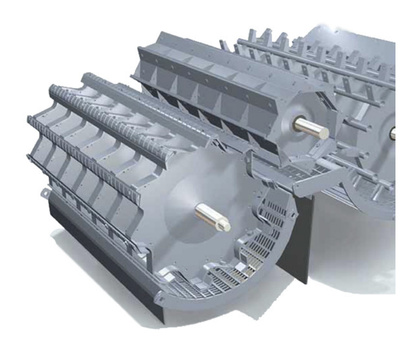


Fig. 12 : système de battage d'une New-Holland Série CX.



Fig. 13 : Système de battage + secoueurs d'une moissonneuse de marque « Fendt ».

Après le convoyeur, la paille passe par un système de battage ; le cœur de la moissonneuse-batteuse. Par l'action cumulée du batteur, d'un contre-bat-

teur (une grille faisant pression sur le batteur) et, dans certains cas, d'un séparateur rotatif, la paille effectue un trajet en « S horizontal » et est donc brisée à plusieurs reprises dans sa longueur. Le tire-paille ou « régulateur de flux », un élément rotatif participant à l'entrainement de la paille vers les secoueurs et situé juste après l'ensemble batteur-séparateur rotatif, accentue les bris de fibre. La paille arrive ensuite sur les secoueurs qui, actionnés par un vilebrequin, soumettent la paille à un mouvement de va-et-vient vertical et horizontal qui sépare les grains de la paille et entraine la paille vers l'arrière de la moissonneuse-batteuse. La paille est ensuite évacuée par une large ouverture à l'arrière de la machine pour y être déposée à même le sol (ou être broyée et épandue si la paille n'est pas récoltée par la suite).

On reconnait ce type de paille par leur longueur (généralement réduite), mais surtout par la structure intacte de la fibre (la tige sans l'épi). En effet, bien que celle-ci soit brisée dans sa longueur, elle est rarement comprimée entre deux éléments. La fibre cylindrique formant la tige est donc intacte et permet d'aspirer à travers, comme une paille dans une boisson. La fibre est donc petite, mais n'est pas écrasée. Certains systèmes de battage ne se composent que d'un batteur/contre-batteur et d'un tire-paille. L'absence de séparateur rotatif permet alors de conserver une longueur de fibre plus importante.

Afin de garantir la meilleure paille possible avec ce type de machine, il faudrait pouvoir ouvrir le batteur et contre-batteur pour accentuer un trajet de la paille plus rectiligne plutôt qu'en « S » et rouler plus doucement afin d'éviter les pertes de grain à l'arrière de la machine. Néanmoins, ce type de réglage limite la vitesse d'avancée ce qui entraîne une diminution du rendement horaire de la machine (Ha/heure).

Contrairement aux machines à rotor (voir ci-dessous) les machines de ce type ont un taux un peu plus élevé de grains cassés suite aux mouvements des secoueurs. Elles sont généralement un bon compromis pour les exploitations agricoles soucieuses de la qualité du grain et de celle de la paille.

Paramètres	Évaluation
Longueur de la fibre	• 0 0
Qualité de la fibre	• • •
Qualité du grain	• • 0

Le système «batteur et rotor»

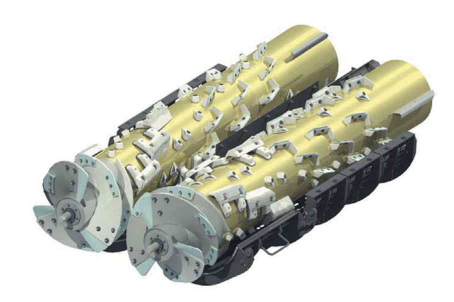


Fig. 14 : Système à rotor de la New-Holland Série CR.

Ce système se différencie du précédent par l'absence de système de battage et de secoueurs au profit d'un système dit «à rotor». Ce rotor se caractérise par une combinaison d'un rotor composé d'une vis sans fin munie de dents et d'une cage entourant la partie inférieure de ce rotor et venant exercer une pression réglable contre celui-ci. Après son passage dans le convoyeur, la paille transite à travers ce système et est frottée contre les grilles amovibles par l'action de rotation du rotor. Ce principe revient à prendre un épi de froment et à le frotter entre les paumes de ses mains. Le grain ne subit plus de chocs importants (de par les secoueurs, par exemple), mais un simple frottement qui le sépare de son épi. La paille, quant à elle, suit une trajectoire plus rectiligne et n'est plus cassée dans sa longueur. Cependant, le frottement du rotor l'écrase contre la grille et endommage l'intégrité de sa structure. Il en résulte une fibre plus longue, mais avec le canal de la tige aplati, écrasé, offrant une résistance au passage de l'air (on ne peut plus aspirer à travers).

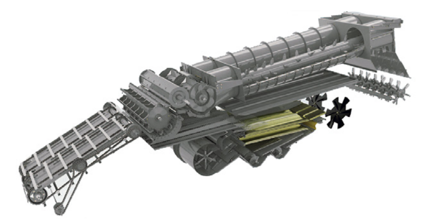
Ce type de machine n'est donc pas recommandé pour un agriculteur désireux d'obtenir la meilleure qualité possible pour sa paille. Elles sont cependant fort privilégiées par les grands céréaliers qui recherchent un débit de chantier important, un grain de bonne qualité et qui broient la paille pour la laisser sur le champ.

Paramètres	Évaluation
Longueur de la fibre	• • •
Qualité de la fibre	• o o
Qualité du grain	• • •

Le système « hybride »




Fig. 15 : Système « APS Hybrid » développé par Claas.


Fig. 16 : Système hybride développé par Massey Fergusson.

En plus des systèmes conventionnels et à rotor décrits ci-dessus, on notera l'existence des systèmes appelés « hybrides ». Ces systèmes offrent une combinaison d'un batteur/contre-batteur, éventuellement d'un séparateur rotatif et d'un tire-paille, le tout combiné à un ou plusieurs rotors de petite taille en lieu et place des secoueurs. Ces modèles de battage connurent un engouement dans les années 2000, mais furent rapidement critiqués et/ou abandonnés au profit des modèles à rotors.

Compliquées d'un point de vue mécanique, les machines hybrides ne permettent pas d'obtenir une paille d'une grande qualité. Ce système tend actuellement à disparaitre lentement au profit de modèle à rotor ou, comme à l'origine des moissonneuses-batteuses, à batteur, bien que certains constructeurs comme Claas, continuent de produire ce type de machine.

Paramètres	Évaluation
Longueur de la fibre	• • 0
Qualité de la fibre	• 0 0
Qualité du grain	• • •

Les girofaneurs, andaineurs et outils similaires

Bien que principalement utilisés dans les travaux de fourrage, les girofaneurs et andaineurs peuvent être utilisés, en de rares occasions, lors de la récolte de la paille en conditions humides. Après des précipitations intenses ou prenant place sur de longues périodes, les andains de paille peuvent être retournés ou « remués » afin d'aérer leur structure et de favoriser le séchage de la paille via une meilleure exposition au soleil et au vent.

Les girofaneurs et andaineurs reposent sur un principe, excessivement simple, de toupies munies de fourches et soumises à un mouvement de rotation. Par l'action de l'effet centrifuge, la marchandise est soit dirigée vers un côté de la machine et réorganisée en un nouvel andain, similaire au premier mais simplement déplacé, soit distribuée sur une plus grande largeur.



Fig. 17 : Girofaneur de marque Kuhn. (Source : www.sillonbelge.be).



Fig. 18 : Andaineuse de marque « Claas ». (Source : www.casagri.fr).

Dans le travail de récolte de la paille, la faneuse est très rarement (voir jamais) utilisée. Cet outil est plutôt utilisé dans la production de foin pour répartir l'herbe fraichement coupée sur une largeur plus importante et permettre ainsi un séchage plus rapide et plus efficace. Pour la production de paille, les agriculteurs emploient directement l'andaineur afin de simplement retourner et déplacer l'andain si cela s'avère nécessaire (ex : après de fortes précipitations). L'utilisation de la faneuse n'est donc pas nécessaire. En effet, elle entrainerait un travail supplémentaire coûteux en temps et en énergie et dégraderait la qualité de la paille.

En de rares occasions, il est possible de voir des « aérofaneurs » travailler dans les campagnes. Ces machines, très simples de conception, sont dotées d'un rotor qui éjecte la marchandise vers des portes mobiles. Ces portes amovibles permettent selon leur ouverture d'ouvrir/refermer l'andain sur une largeur différente.



Fig. 19 : Aérofaneur de marque « Albert » dans la paille. (Source : G. Chevalier).

Ces machines sont parfois utilisées dans le but de resserrer un andain trop large, d'ouvrir un andain de taille normale pour l'aérer ou de relever la paille écrasée par la moissonneuse et/ou les tracteurs lors des travaux de récolte des grains.

Autre outil, encore plus rare mais très intéressant pour une filière de production de ballot de paille de qualité pour la construction, le « retourneur d'andain » est une machine plus présente en France, plus spécifiquement encore dans la culture de la luzerne. Cet outil est utilisé pour retourner un andain sans en abîmer la marchandise et sans y joindre des éléments non-désirables (ex : pierres, terre, poussières, …). Dans le cas de la luzerne, l'emploi de cette machine permet de préserver la qualité des feuilles, très riches en protéines.

Cette machine, au concept très basique, est composée d'un pick-up dont le rôle est de décrocher l'andain du sol pour l'amener dans la machine, d'un tapis roulant dont le rôle est de transférer la marchandise du pick-up vers l'élément suivant, et d'un disque rotatif dont le rôle est de déplacer la marchandise sur le côté de la machine pour que, par effet de gravité, celle-ci retombe en un andain dont la face contre sol était celle précédemment en contact avec l'environnement extérieur avant le passage de l'outil.



Fig. 20 : Retourneur d'andain de marque « DION » dans un champ de luzerne. (Source : foindeluzerne.fr).

Les presses agricoles et le ballot de paille

Au centre des attentions des producteurs de paille, les presses agricoles sont les outils les plus importants après les moissonneuses-batteuses durant la période des moissons. Elles représentent l'outil parfait pour récolter de grandes quantités de paille en un temps réduit tout en se déclinant en de multiples formes adaptées à différents usages.

Le rassemblement de la paille en ballot facilement manipulables est une méthode très ancienne caractérisée à l'époque par l'obtention de « gerbes ». La moisson était alors entièrement réalisée à la main et durait un temps considérable pendant lequel les gerbes étaient ramenées à la ferme et battues afin d'en extraire le grain. La paille était ensuite directement stockée dans le pailler.



Fig. 21 : La moisson et le battage des gerbes en 1934 (Source : paysmellois.org, « Pays Mellois d'hier et d'aujourd'hui »).

Avec l'apparition des premières moissonneuses en 1834, suivies de près par les moissonneuses-batteuses mobiles, le travail de moisson et de

battage était réalisé en une seule opération au champ. Ce n'est qu'à la moitié du 19e siècle, aux États-Unis, que l'apparition des premières presses agricoles (fort différentes de celles connues à ce jour) permit de faciliter le travail de récolte de la paille laissée sur champ. Celles-ci nécessitaient cependant encore beaucoup de main-d'œuvre.



Fig. 22 : Un exemple des premières presses agricoles stationnaires - 1908.
(Source : http://www.cardington-ohio-heritage.com/).

La grande révolution apportée dans les années 1880 fut l'invention du noueur automatique. Ingénieux système permettant de lier automatiquement les ficelles du ballot, il permit la confection de ballot de meilleure qualité en moins de 10 minutes, contre plusieurs heures pour les toutes premières presses. C'est après cette invention et le succès des premiers ballots de foin et de paille que l'industrialisation des presses agricoles prit son envol. Un à un, les constructeurs de matériels agricoles se penchèrent sur cette nouvelle technologie et développèrent leur propre vision de la presse du futur. Le temps et l'expérience firent rapidement leur sélection jusqu'à ramener la caractérisation des presses agricoles selon trois grandes familles, détaillées ci-dessous.

Les presses à ballot rectangulaire haute densité

Souvent privilégiée par les gros producteurs de paille pour les quantités de paille stockées, les presses à ballot rectangulaire haute densité se comptent parmi les plus répandues. Elles sont généralement en concurrence avec les presses haute densité à balle ronde (voir ci-dessous) mais se démarquent par leur débit de chantier supérieur (pas de temps d'attente) et les facilités de rangement lors du stockage des ballots. De plus, le fonctionnement de la presse induisant la création de « galettes » de paille, celles-ci se détachent facilement du ballot et permettent une manutention rapide et aisée.



Fig. 23 : Presse haute densité à balle rectangulaire, modèle « BigBaler » de « New-Holland ». (Source : www.newholland.com).



Fig. 24 : Presse haute densité à balle rectangulaire, modèle « Quadrant 3400 » de « Claas ». (Source : www.claas.fr).

Bien que les dimensions du canal de compression soient imposées par le constructeur selon le modèle, la longueur de chaque ballot est quant à elle réglable à volonté, mais selon les limites mécaniques du ballot en lui-même.

Paramètres	Réglable	Valeur
Hauteur	Non	De 60 à 100 cm
Largeur	Non	De 70 à 120 cm
Longueur	Oui	De 50 cm à … (max 250 - 280 cm)
Densité	Oui	De 150 à 220 kg/m^3 (dépend du type de presse mais également de la puissance du tracteur).

Les presses à balle ronde haute densité

Privilégiée par les grands éleveurs, les balles rondes haute densité sont appréciées pour leur facilité à se dérouler et ainsi favoriser la manutention ; une balle peut être déroulée progressivement à la main au milieu d’une étable afin de répartir la quantité de paille de manière égale de part et d’autre de l’allée centrale.



Fig. 25 : La presse à balle ronde haute densité « Roland 380 » de « Claas » (Source : www.claas.fr).

Ces machines sont souvent critiquées pour leur débit de chantier. En effet, la configuration du système oblige le chauffeur à s’arrêter de manière régulière pour finaliser la confection de la balle et ouvrir la porte arrière afin d’éjecter celle-ci. Bien que les nouvelles presses tendent à réduire de plus en plus ce laps de temps non productif via de nouveaux systèmes d’éjection, elles conservent malgré tout ce désavantage contrairement aux presses à ballots rectangulaires.



Fig. 26 : La presse à balle ronde haute densité John Deere Serie 900 et son système d’éjection rapide (Source : http://fr.johndeeredistributor.be/).

Paramètres	Réglable	Valeur
Largeur	Non	De 100 à 120 cm
Diamètre	Oui	De 80 à 190 cm
Densité	Oui	De 100 à 170 kg/m^3

Les presses à ballot rectangulaire moyenne densité

Directement concernées par l'objet de la recherche, les presses à ballots rectangulaires de moyenne densité sont les ancêtres des presses agricoles. Fortement répandues dans les années 1980 - 1990, elles laissèrent vite leurs places aux presses à haute densité, plus rentables. Certains modèles subsistent malgré tout dans une activité moins soutenue. Certains particuliers sont toujours à la recherche de «petits ballots» de foin ou de paille, les manèges s'y intéressent également, de même que les petits agriculteurs pour des facilités de manutention. Mais bien avant ces différents secteurs, c'est bel et bien la construction qui représentait une des grosses demandes pour les colons américains. C'est en effet au Nebraska - États-Unis, en 1886, date coïncidant avec une plus grande disponibilité des premières presses agricoles, que la première maison en paille répertoriée à ce jour fit son apparition.
Aujourd'hui, le marché des presses moyenne densité n'est plus aussi actif qu'il y'a 20 ans. Certains fabricants proposent encore un modèle de ce type de presse, d'autres ont tout simplement choisi de quitter le marché pour se concentrer sur les modèles à haute densité.

Parmi les modèles encore disponibles sur le marché, il est possible de distinguer deux configurations techniques bien différentes.

Le modèle décentré sur l'andain

De nombreux constructeurs dont New-Holland, John Deere, Claas, Massey Fergusson, Welger, Gallignani, etc., se sont penchés sur la réalisation de ce type de presse, raison pour laquelle ce type de machine est le plus répandu dans le monde des «petits ballots». Sa principale différence par rapport au modèle centré (voir ci-dessous) est que la machine roule de manière décentrée, ou décalée, par rapport à l'andain. En effet, le tracteur roule à côté de l'andain tandis que la presse est déportée et roule en partie à cheval sur celui-ci. Cette configuration entraine un trajet différent de la marchandise pouvant avoir un impact sur la qualité de celle-ci suivant le modèle employé.

Avantages	Inconvénients
Le tracteur roule à côté de l'andain et ne l'abîme pas si celui-ci est trop haut.	La position de travail au champ et la position de route sont différentes. Dès lors, il est nécessaire de replier la presse avant de sortir du champ.
Le couplage d'un groupeur ou d'un chariot accumulateur s'effectue également de manière déportée par rapport au tracteur, la visibilité sur cet outil supplémentaire s'en retrouve donc accrue.	La largeur sur route étant importante, la largeur des pick-up est limitée. Cet aspect peut représenter un problème en cas de passage d'une moissonneuse ayant une barre de coupe trop large.
Le coût, moins élevé qu'un modèle centré sur andain (~18 000 - 20 000 € neuve).	Le trajet de la marchandise est plus long. Celle-ci soumise à plus de sollicitation selon que l'on est en présence d'un ameneur à dents ou à vis sans fin.



Fig. 27 : Presse moyenne densité « New Holland » modèle « BC5000 ». (Source : www.newholland.com).



Fig. 28 : Presse moyenne densité « John Deere » modèle 459T. (Source : www.deere.fr).

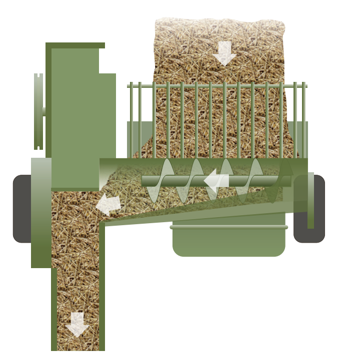


Fig. 29 : Principe d'acheminement de la marchandise dans la chambre de compression de la presse « John Deere » (Série 495T). (Source : www.deere.fr).

Paramètres	Réglable	Valeur
Hauteur	Non	36 cm
Largeur	Non	46 cm
Longueur	Oui	De 30 cm à … (max 120 - 150 cm)
Densité	Oui	De 70 à 150 kg/m^3

Le modèle décentré sur l'andain

Modèle peu répandu sur le marché et développé par Massey Fergusson (Hesston-Challenger aux États-Unis et en Australie) et Welger, cette presse moyenne densité a la particularité de rouler « à cheval » sur l'andain. Cette configuration apporte les caractéristiques suivantes.

Avantages	Inconvénients
La position de travail au champ et la position de route sont les mêmes. Dès lors, aucune opération supplémentaire n'est requise avant de prendre la route. De plus, la largeur sur route est moins importante.	Le tracteur et la presse roulent à cheval sur l'andain, ce qui signifie qu'en cas d'andain imposant, la paille est écrasée ou trainée par des éléments en saillie (châssis, éléments des relevages, timon, …)
Le couplage d'un groupeur ou d'un chariot accumulateur s'effectue en ligne, derrière la presse, ce qui tend à réduire les efforts dans le châssis de la presse.	Les groupeurs et chariots couplés en ligne à l'arrière de la presse ne sont pas aussi visibles que s'ils étaient déportés comme sur les presses décentrées de l'andain.
La marchandise entre en ligne droite dans la presse ce qui garantit une meilleure alimentation et répartition de celle-ci dans le canal de compression mais lui épargne également des sollicitations mécaniques au niveau de la fibre.	Le coût (~30 000 € neuve).



Fig. 30 : Presse moyenne densité de Massey Fergusson (Série 1800) - Centrée sur l'andain. (Source : www.masseyferguson.com).

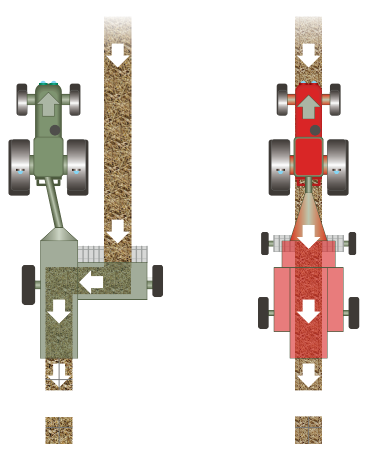
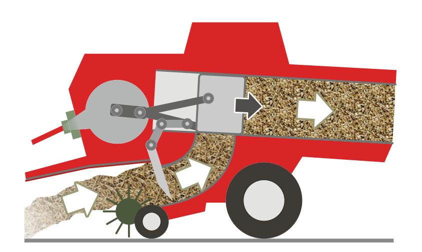


Fig. 31 : Comparaison du trajet de la marchandise dans une presse décentrée de l'andain et centrée sur l'andain. (Source : www.masseyferguson.com).



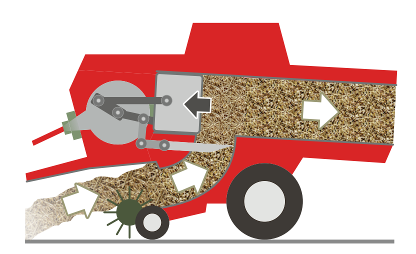


Fig. 32 : Principe d'acheminement de la marchandise dans la chambre de compression de la presse « Massey Fergusson » (Série 1800). (Source : www.masseyferguson.com).



Fig. 33 : Presse centrée de type « Welger D 2500 ».

Paramètres	Réglable	Valeur
Hauteur	Non	36 cm
Largeur	Non	46 cm
Longueur	Oui	De 30 cm à … (max 120-150 cm)
Densité	Oui	De 70 à 150 kg/m³

L'avis des chercheurs

Techniquement il apparait que certaines presses présentent des caractéristiques susceptibles de produire des ballots à fibres verticales. Par les différents essais réalisés sur des galettes de paille de faibles épaisseurs, on sait que la conductivité thermique de la paille est fonction de l'orientation des brins. Pouvoir orienter les brins de paille au cœur d'un ballot pourrait donc représenter un avantage certains pour la construction en paille. La recherche « aPROpaille » s'est penchée sur cette question et fournit des éléments de réponse dans le Vadémécum n° 2.

Focus sur le fonctionnement d'une presse moyenne densité

Telle que présentée dans le chapitre précédent, la presse moyenne densité se révèle être l'outil par définition pour réaliser les petits ballots utilisés, entre autres, dans le secteur de la construction. Cependant, avant d'être un matériau de construction, le ballot de paille est un coproduit de l'agriculture. A l'inverse des procédés employés dans l'industrie des matériaux de construction, la production de ballots de paille ne permet pas l'obtention d'une précision millimétrique. Afin d'en cerner la raison, il est apparu opportun dans le cadre de la recherche de présenter le fonctionnement de ces presses agricoles. Non seulement ce chapitre permettra aux personnes extérieures au monde agricole de comprendre la façon dont un ballot de paille est produit ou encore les réglages possibles sur ce type de machine, mais il peut également offrir la possibilité aux acteurs de la construction en paille d'acquérir une presse agricole et de l'utiliser comme machine de production mobile pour leurs chantiers.

La machine présentée dans les pages suivantes est une presse moyenne densité de marque « New-Holland », modèle 276. Construite dans les années 90, elle est représentative des presses actuellement utilisées par un grand nombre d'agriculteur. De structure similaire à toutes les presses décentrées par rapport à l'andain, elle présente trois éléments distincts.

Le pick-up et l'ameneur, éléments destinés à récupérer la paille au sol et à l'amener vers la chambre de compression, et le canal de compression, élément destiné à façonner le ballot à l'aide principalement d'un piston et d'un système de nouage.

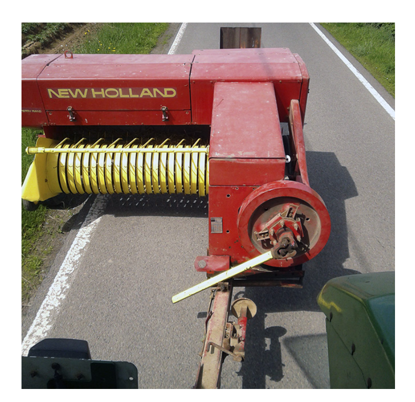


Fig. 34 : Canal de compression (dans l'axe de la photo) et le système de ramassage (en jaune sur la gauche). (Photographie : B. Biot).

La presse est généralement entraînée par un tracteur, bien que pour une utilisation sur chantier elle puisse être couplée à un moteur électrique ou thermique. La liaison entre l'élément moteur et la presse est réalisée par l'intermédiaire d'une prise de force (élément jaune clair posé sur le timon sur la photo ci-dessus). Cette prise de force entraîne le volant d'inertie qui, à lui seul actionnera l'ensemble des éléments mobiles de la presse. Ce volant tourne généralement à une vitesse de +/- 540 tours/min. Comme son nom l'indique, son rôle est de répartir la puissance mécanique afin de profiter de son inertie pour soulager l'élément moteur lors de l'action de compression du piston.

Par action du volant d'inertie, un système de poulies et de chaînes entraîne, entre autres, le ramasseur (parfois appelé « pick-up » selon l'appellation anglaise). Cet élément rotatif muni de fines dents permet de soulever la paille du sol et de l'entraîner à l'intérieur de la presse. L'ameneur, constitué de deux paires de dents mobiles sur ce modèle de presse[2], prend alors le relais pour entraîner la marchandise vers le canal de compression par un mouvement de « va et vient » perpendiculaire au canal en question.

2. Sur certains modèles de presse (ex : « John Deere »), l'ameneur à dents est remplacé par un ameneur à vis sans fin.



Fig. 35 : Vue sur le ramasseur et l'ensemble des dents qui le composent. (Photographie : B. Biot - ICEDD).



Fig. 36 : Zoom sur le ramasseur. (Photographie : B. Biot - ICEDD).



Fig. 37 : Panneau amovible à l'arrière de la presse permet de visualiser le système « ameneur » et une paire de dents. (Photographie : B. Biot - ICEDD).



Fig. 38 : Vue des dents amovibles fixées sur le bras de l'ameneur. (Photographie : B. Biot - ICEDD).



Fig. 39 : Partie gauche de l'ameneur présente deux paires de dents fixes chargées de conduire la marchandise par paquet dans le canal de compression. (Photographie : B. Biot - ICEDD).



Fig. 40 : Vue rapprochée du piston par le dessus. Le couteau est situé sur le côté visible du piston. (Photographie : B. Biot - ICEDD).

Travaillant en synchronisation avec l'ameneur, le piston travaille dans un mouvement d'allers retours pour compresser la paille. Chaque paquet de paille déposé par l'ameneur devant le piston lorsque celui-ci est en retrait est compressé pour former les « galettes » de paille visibles lors de l'ouverture d'un ballot. Un couteau (fixé sur le piston) et un contre-couteau (fixé sur le bord de l'ouverture latérale du canal de compression) se croisent lors du mouvement du piston pour sectionner les brins de paille restants à cheval entre le canal et l'ameneur. L'action de ce système de coupe est visible sur un des côtés du ballot produit ; une face présente en effet une multitude de brins sectionnés.



Fig. 41 : Vue intérieure du canal de compression. Le piston se trouve au fond et est interrompu sur sa face visible par deux découpes destinées à permettre le passage des aiguilles (voir plus bas). Sur sa droite, on distingue la tranche du couteau. Sur le côté droit du canal, les fixations du contre-couteau se détachent de la paroi et l'ouverture permettant l'alimentation en paille par l'ameneur est visible.
(Photographie : B. Biot - ICEDD).

Par actions régulières et synchronisées du ramasseur, de l'ameneur et du piston, des « galettes » de paille sont compressées et accumulées dans le canal de compression jusqu'à former le ballot.

L'ensemble des réglages liés à la densité et la longueur du ballot s'effectuent par les mécanismes situés en fin du canal de compression. La crémaillère est l'élément utilisé pour régler la longueur du ballot. Visible sur

la photo et le schéma ci-dessous, elle est composée d'une face dentée **(n° 33 sur la figure 50)** en contact avec un élément rotatif **(n° 40 sur la figure 50)** permettant un mouvement vertical de la totalité de l'élément **(n° 31 & n° 32 sur la figure 50)**. L'élément rotatif **(n° 40 sur la figure 50)** se situe sur le même axe que la roue dentée (en forme de soleil, visible sur la photo de gauche) elle-même entraînée par l'avancée du ballot dans le canal de compression à chaque coup de piston. En fin de course, la crémaillère est composée d'une butte d'arrêt **(n° 34 sur la figure 50)**. Ce renfoncement permettra un mouvement horizontal de la crémaillère **(n° 31 sur la figure 50)** qui déclenchera les noueurs. L'amplitude du mouvement de la crémaillère est définie par une bague de serrage **(n° 39 sur la figure 50)**. Au plus celle-ci est basse sur la face dentée, au plus l'amplitude du mouvement sera court et le ballot petit. La position de cette bague sur la crémaillère détermine donc la longueur du ballot produit.



Fig. 42 : Mise en évidence de la crémaillère et de la roue dentée entrainée par le mouvement de sortie du ballot. (Photographie : B. Biot - ICEDD).

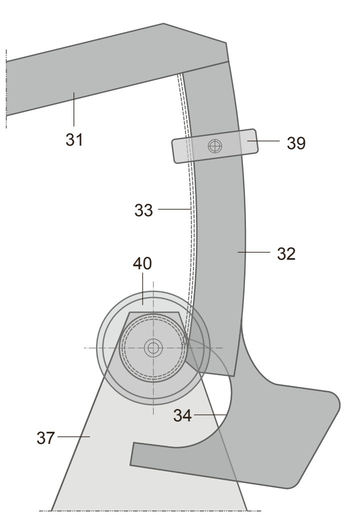


Fig. 43 : Schéma de principe de la crémaillère. (Source : New-Holland - Brevet EP0242448 B1 du 17/05/1989).

Le fonctionnement des noueurs étant un sujet trop complexe à aborder dans le cadre de ce document, il n'en sera pas fait mention. Le lecteur se doit cependant de savoir que ces éléments mécaniques sont les premières causes de panne des presses agricoles. Capricieux de nature, les noueurs

sont composés d'une multitude de pièces susceptibles de connaitre des dérèglements ou des pannes suite à une utilisation prolongée sans entretien ou réglage au préalable.

Faisant partie intégrante du système de nouage, les aiguilles sont les éléments chargés du passage des ficelles à travers le canal de compression. Profitant de découpes dans le piston, elles travaillent en parfaite synchronisation avec ce dernier pour amener les ficelles aux noueurs au moment même où le piston exerce sa compression maximale sur le ballot.

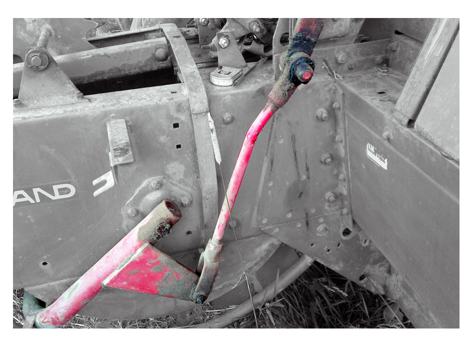


Fig. 44 : Principe d'entrainement des aiguilles. Au déclenchement des noueurs, le système induit une rotation des aiguilles à travers le canal de compression.
(Photographie : B. Biot - ICEDD).



Fig. 45 : Positionnées sous le châssis, à la verticale des ficelles, les aiguilles traversent le canal de compression pour rejoindre les noueurs. (Photographie : B. Biot - ICEDD).



Fig. 46 : Vue d'ensemble du système de noueurs (un par ficelle). Sur la droite, on distingue en partie le système d'entraînement des aiguilles. Sur la gauche, la base de la crémaillère est reliée aux noueurs.
(Photographie : B. Biot-ICEDD).

Dernier élément important pour le calibrage du ballot, le réglage de sa densité s'effectue très simplement par l'actionnement de deux vis à ressort destinée à resserrer les éléments mobiles du canal de compression. Ces éléments créent une résistance à l'avancée du ballot dans le canal, ce qui permet au piston d'exercer une plus grande pression sur le ballot et d'ainsi accumuler une plus grande quantité de paille dans un volume identique.



Fig. 47 : Vue d'ensemble du système de réglage de la densité du ballot. En resserrant le mécanisme, le ressort se comprime et accentue l'effet « entonnoir » du canal. (Photographe : B. Biot - ICEDD).



Fig. 48 : Élément mobile supérieur du canal. En sortie du canal de compression, l'élément exerce un effort sur le ballot freinant son avancée. Le piston peut ainsi accumuler plus de matière dans un même volume ; la densité du ballot augmente.
(Photographie : B. Biot - ICEDD).

Le réglage appliqué sur ces « vis à ressort » déterminera donc la densité du ballot à la sortie de la presse.

En résumé :

- Du point de vue des critères de sélection des ballots pour la construction, aucun réglage n'est à effectuer sur le ramasseur, l'ameneur et le piston. Il revient au propriétaire de la presse d'effectuer **les entretiens et réglages réguliers** afin de garantir un fonctionnement optimal de la presse et **la production de ballots de dimensions régulières.**

- **La prise de force** qui entraine la presse tournera toujours à la plus petite vitesse autorisée par le tracteur ; généralement, **540 tr/min.**

- Les éléments influençant en grande partie la forme du ballot sont **la vitesse d'avancée du tracteur** et **la taille et régularité des andains.** Dès lors, il est recommandé de rouler **à vitesse constante** afin de garantir une alimentation constante de la presse et, dans la mesure du possible, d'avoir **des andains réguliers et de taille moyenne.**

- Dans le cas d'une presse sur chantier, l'alimentation en paille se fera de manière constante par la présence de deux personnes qui, à tour de rôle, engageront une quantité importante de paille au pied du ramasseur (prévoir un stock de paille en vrac important). Une solution plus pratique, mais plus coûteuse, serait de coupler un tapis roulant à la presse. Une alimentation de paille en vrac en amont du tapis permettrait d'obtenir, en aval de ce dernier, une alimentation constante de la presse.

- **La longueur du ballot** se règle via **la bague de serrage sur la crémaillère** située à proximité des noueurs. Un décalage de quelques millimètres pouvant avoir son importance, il est recommandé de pratiquer plusieurs essais et réglages avant d'entamer la production proprement dite. Il convient également de garder à l'esprit que l'amplitude du mouvement de cette bague entraîne **des dimensions minimales et maximales du ballot imposées.**

- **La densité du ballot** se règle par action sur les «vis à ressort» située en bout de course du canal de compression. Les éléments mobiles dépendant de ces vis se resserrent et créent une résistance à l'avancée du ballot dans le canal, impliquant que le piston accumule **plus de matière dans un même volume** et exerce **plus d'effort** pour faire avancer le ballot.

Chaque paramètre ayant son importance et pouvant se combiner à un autre, l'utilisateur de la presse devra veiller à la bonne connaissance de chacun d'entre eux afin de pallier à un éventuel problème lors de l'utilisation de celle-ci. Une presse n'étant pas une autre, il est toujours conseillé de se faire entourer par un professionnel lors des premières utilisations.

La manutention de la paille

La production de ballots passe inévitablement par la nécessité d'abriter ces derniers afin de les protéger de la pluie et de dégager la terre pour les

travaux suivants. Lorsque vient le moment de charger les ballots, diverses méthodes s'offrent aux agriculteurs. Celles-ci dépendent, bien entendu, de la taille des ballots en eux-mêmes mais également de la quantité à charger. Un gros producteur de petits ballots (moyenne densité) préférera un groupeur lieur ou un auto-chargeur lui permettant de les grouper en paquet équivalent en volume à des ballots haute densité. La manutention s'effectue alors avec les machines habituelles, à savoir un télescopique ou un chargeur frontal, par exemple. Le petit producteur préférera des groupeurs accumulateurs rassemblant les ballots en tas non liés, ce qui facilite le chargement manuel par la suite, ou restera fidèle aux bonnes vieilles méthodes. Les facteurs « temps » et « rentabilité » sont les maitres mots dans le choix de la méthode à privilégier.

Bien que les groupeurs destinés à la production de ballots haute densité se déclinent en plusieurs marques et modèles, ceux présentés dans le présent document ne concerneront que la production de ballots moyenne densité.

Les groupeurs

On distinguera les groupeurs que nous appellerons « lieurs » des groupeurs « accumulateurs ». Les premiers sont généralement accrochés directement derrière la presse et charge automatiquement chaque ballot produit pour l'intégrer dans un groupe de ballots plus importants (15 - 20 ballots). Il en résulte un « paquet » de ballots liés ensemble et dont les dimensions sont adaptées aux engins de levage généralement utilisés en agriculture. Ces machines sont toutefois moins répandues du fait d'un coût trop important pour l'agriculteur (~ 30 000 – 40 000 €). Autre point sensible dans l'utilisation de ces machines, la longueur des ballots doit respecter certains critères afin d'assurer un bon fonctionnement des éléments de compression et de liage. Ce qui ne les rend pas compatibles avec tous les types de ballot moyenne densité produits.



Fig. 49. Groupeur lieur indépendant de type « Arcusin » et le groupement de ballots à la sortie. (Source : agriaffaires.com).



Fig. 50 : Groupeur de type « Bélair » directement attelé à la presse. (Source : agriaffaires.com).

Outre ces groupeurs « lieurs » plus sophistiqués, il existe des groupeurs « accumulateurs » qui reposent sur un principe plus simple, ne mettant pas en jeu des entrainements mécaniques compliqués. C'est le cas, par exemple, des chariots ou des groupeurs trainés.
Les chariots sont de simples remorques à cage attelée à la presse. Un dispositif d'éjection (mécanique ou hydraulique) situé à la sortie de la presse envoie le ballot dans la remorque. Une fois les ballots collectés, la remorque peut être attelée à un tracteur et emmenée à l'endroit de stockage. Cette technique est plus contraignante pour des ballots à destination de la construction. En effet, selon le réglage du mécanisme d'éjection, la force exercée sur le ballot et la contrainte que celui-ci encaisse lors de son atterrissage dans la remorque peuvent entraîner des déformations relativement importantes du ballot.



Fig. 51 : Remorque à cage directement attelée sur la presse. (Source : www.needwoodfarms.com).

Les groupeurs trainés s'attachent également derrière la presse et trainent les ballots sur le sol jusqu'à atteindre la capacité maximale de chargement.

Une porte s'ouvre alors à l'arrière laissant les ballots entassés sur le sol. Un engin de manutention (télescopique ou chargeur frontal sur tracteur) est alors utilisé avec une fourche adaptée pour charger ce groupement de ballot.



Fig. 52 : Groupeur trainé de marque « Khun ».
(Source : www.kuhnsmfg.com).

Il est également fréquent d'utiliser ce type de groupeur pour rassembler les ballots par tas et faciliter un chargement manuel ultérieur.

Les auto-chargeurs

Les auto-chargeurs sont des machines, parfois automotrices, destinées à favoriser la rapidité de chargement des ballots. Aucune fonction de liage n'est présente, seule une fonction de chargement est disponible. Trainés derrière un tracteur ou automoteurs, ces outils permettent de rassembler la totalité de la récolte en bordure de champ ou directement dans le bâtiment de stockage.



Fig. 53 : Remorque auto-chargeuse
trainée de marque « New-Holland ».



Fig. 54 : Auto-chargeuse automotrice de marque « New-Holland ».

La fonction de chargement et de transport étant rassemblée en un seul outil, ce type d'outillage peut s'avérer être très intéressant pour un grand producteur. Le prix d'achat et les quantités produites en Belgique restent cependant des éléments limitant leur utilisation.

Les bonnes vieilles méthodes…

Les exploitations de plus petite taille ne produisant que quelques centaines de petits ballots par an n'ont aucun intérêt à investir dans un groupeur ou un outil auto-chargeur. Le charme des moissons d'antan revient alors au gout du jour lorsque l'agriculteur et ses proches (voir, pourquoi pas, un futur maitre d'ouvrage) sortent la remorque pour charger manuellement les ballots. Le seul outillage alors requis n'est rien d'autre qu'une bonne vieille fourche.

Les solutions locales

Face au besoin de rentrer rapidement une quantité importante de petits ballots, les agriculteurs du monde entier ont imaginé des techniques toutes aussi variées les unes que les autres et parfois très innovantes. Ainsi, sur le continent Américain, il est fréquent de rencontrer des groupeurs « faits maisons » offrant plus de performances que ceux disponibles sur le marché, mais également des chargeurs frontaux munis de dents articulées ou, plus artisanal, d'éléments horizontaux métalliques en « T » inversé, destinés à collecter les ballots directement sur le champ par l'intermédiaire du tracteur seul.



Fig. 55 : Exemple de chargeur frontal à dents articulées. (Source : koykermfg).

En résumé :

- L'utilisation d'un **groupeur** peut faciliter la manutention des ballots et procurer une **protection supplémentaire contre la pluie** si les ballots doivent rester quelques temps sur le champ.
- Les **groupeurs** permettent l'emploi d'engin de manutention adaptés aux ballots de formats plus importants. Le **rendement de travail** s'en retrouve donc considérablement **amélioré**.
- Les **remorques à cages couplées** à un système d'éjection du ballot sur la presse peuvent présenter des **risques pour la cohésion des ballots**, en particulier si ceux-ci sont pressés à une densité relativement faible. La tension sur les ficelles n'est alors pas suffisante que pour maintenir la paille en place lors du choc à l'atterrissage du ballot.
- En cas d'utilisation de **remorques à cage**, une **rampe d'amenée des ballots** est recommandée en lieu et place d'un système éjecteur.
- Les **groupeurs trainés**, selon leur configuation, peuvent également présenter un **risque pour la qualité du ballot**. En effet, certains modèles trainent le ballot sur le sol sur plusieurs mètres. La face du ballot en contact avec le sol peut alors être abîmée. Cette remarque est valable pour tout système «groupeur» ou de chargement qui, dans leur fonctionnement, traine le ballot à même le sol.
- Les **systèmes auto-chargeur** sont **plus rares en Belgique** mais représentent un gain de temps considérable et **réduisent les travaux de manutention** du ballot.

Le stockage de la paille

Le stockage sous abri

Dans les cas le plus fréquents, les ballots sont stockés sous des abris de divers types ; fenil, hangar ouvert, hangar fermé, … Ces abris permettent aux ballots de conserver leurs propriétés sur le long terme sans subir de dégradations suite à des conditions climatiques défavorables. Ainsi, ils devront fournir une bonne protection à la pluie directe et battante. Dans le

cas d'un hangar de type «ouvert», des débordants de toiture assureront cette protection à la pluie. En cas d'absence de ces éléments de protection, il pourrait être prudent d'écarter les ballots de surface de la sélection finale. De plus, la qualité de l'ouvrage doit assurer qu'aucune intrusion d'humidité autre que la pluie (infiltration, par exemple) ne viendra altérer la qualité des ballots en contact avec les différentes parois. Pour ce faire, on peut éventuellement placer des palettes ou des caillebottis, à même le sol, avant le stockage des ballots, cette précaution servant également à maintenir une bonne ventilation de la marchandise.



Fig. 56 : Hangar de type «fermé» partiellement occupé par des ballots haute densité.

Ce type de stockage doit permettre un minimum de ventilation afin que certains ballots, éventuellement plus humides que d'autres, poursuivent leur processus de séchage. Il n'est pas requis de disposer d'une ventilation mécanique pour autant ; un passage d'air naturel est suffisant à ce niveau. Il est parfois observé la mise en place d'un espace entre chaque colonne de ballot, ceci afin de garantir la présence d'une lame d'air faiblement ventilée entre les ballots.
Autre éléments nuisibles, les rongeurs établissant leur domicile dans les espaces situés entre chaque ballot peuvent occasionner certaines pertes sur le long terme. Outre leur présence peu désirable, ces animaux ont tendance à ronger les ficelles des ballots leur enlevant ainsi tout rôle structurel.

Le stockage en meule sous-bâche

Autre manière de procéder, le stockage sous bâche directement sur le champ permet à l'agriculteur de retarder les trajets «champs-ferme» tout en économisant la réquisition d'une place importante dans le hangar.



Fig. 57 : Meule de paille bâchée.
Sur l'illustration, seul le côté le plus exposé à la pluie est protégé.

Malgré les avantages cités ci-dessus, ce mode de stockage peut présenter certains risques. La configuration d'une meule présente généralement un «toit» plat bâché sur lequel l'eau peut s'accumuler et stagner suite à des précipitations importantes. En cas de détérioration de la bâche, cette eau peut s'infiltrer dans les ballots et contaminer la totalité de ceux-ci au droit du percement de la couverture. La bâche ne favorise pas non plus une bonne ventilation de la marchandise. Cela pourrait se ressentir en cas de présence d'une humidité importante dans les ballots. Cette humidité peut moins facilement s'échapper et à termes dégrader la fibre.

LE PRIX DE LA PAILLE

Lors de la collecte des résultats de l'enquête publique réalisée dans le cadre de la recherche, il apparut que près de 58 % des participants ignoraient le coût d'un ballot de paille. Cette donnée s'avère pourtant être capitale lorsque l'on en vient à déterminer le coût d'un bâtiment en paille.

Comme dans tout marché, la composante principale influençant le prix de vente d'un produit est la demande. Dans le cas de l'agriculture, c'est principalement les conditions climatiques de l'année en cours qui détermineront les besoins en paille des agriculteurs. Ces besoins dicteront le prix de vente minimum de la paille pour l'ensemble des filières.

Vient ensuite le conditionnement de la paille. A ce stade, plusieurs choix sont possibles ;

- La paille s'achète en vrac (en andains) directement **sur champ.** Elle se vend alors à la tonne. L'acheteur doit alors prendre à ses frais le coût du pressage et du transport.

- La paille s'achète en **ballots déjà pressés sur champ**. Elle se vend soit à la tonne (le plus courant) soit au ballot si ceux-ci sont calibrés dès le départ et de dimensions et masse constantes. Le prix tient alors compte du coût d'amortissement de la presse et du tracteur et des consommables utilisés (ficelles, carburant, …), de la main d'œuvre, etc.

- La paille s'achète sur **les stocks**. Pratique courante des négociants en paille, elle consiste à presser la paille et à la stocker dans des hangars prévus à cet effet dans le but d'attendre une hausse des prix. Cette hausse survient généralement après que la paille sur champ (en vrac, en ballots ou en meule) soit totalement épuisée et permet de prendre en compte les coûts de stockage mais également l'augmentation de la demande après une période d'abondance. La paille se vend alors à la tonne ou au ballot suivant le type de demande.

Enfin, ce prix de vente variera également en fonction de la qualité de la marchandise et des intérêts du vendeur. Il est fréquent de rencontrer des agriculteurs qui se portent garant de la qualité de leur paille et/ou de leur ballot, mais en demandent, en échange, un prix légèrement plus élevé que la moyenne.

En pratique

Déterminer un prix moyen de la paille en Belgique nécessiterait de contacter un nombre conséquent d'agriculteur qui, eux-mêmes, devraient calculer le prix moyen des pailles vendues ces dernières années. Afin de faciliter cette tâche, une plage de prix a été déterminée sur base de chiffres communiqués par les agriculteurs contactés dans le cadre de la recherche. Il en ressort ce qui suit ;

- Prix de la paille en vrac, sur champ : **de 25 à 40 €/Tonne**.

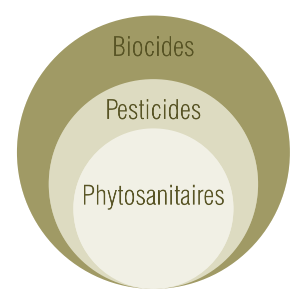
- Prix du petit ballot de paille (~15 kg) : de 1 € à 2,5 €, soit de **67 €/Tonne à 170 €/Tonne.**

Il convient de garder un esprit critique face à ces estimations de prix. Un agriculteur spécialisé dans la production de ballots et qui s'engagera à produire selon un cahier de charge bien précis proposera naturellement un prix plus élevé afin de tenir compte du temps de travail plus important, nécessaire à l'obtention d'un ballot de qualité plus élevée que la moyenne.

LE CHOIX D'UNE PAILLE « BIOLOGIQUE »

Les produits de synthèse

Les biocides (produits de synthèse) utilisés pour lutter contre les ravageurs ou améliorer les rendements sont au centre des critiques émises envers le monde agricole. Désireux de se séparer de ces matières actives nocives tant pour l'Homme que pour l'environnement, certains agriculteurs pratiquent une « agriculture raisonnée » dont le but consiste, entre autres, à mettre en œuvre des méthodes de production non nocives pour l'environnement. On y retrouve, par exemple, la valorisation d'une faune particulière pour la lutte contre les ravageurs, une sélection de produits de synthèse, le désherbage mécanique, etc. Cependant, malgré l'impact des produits de synthèse sur l'environnement, leur utilisation est encore courante dans l'agriculture traditionnelle. Pour comprendre leur importance et la raison d'une telle utilisation, il convient d'en présenter brièvement l'utilité.



De manière plus précise, les « biocides » englobent l'ensemble des pesticides qui, eux-mêmes, englobent les produits phytosanitaires (voir ci-dessus). Les biocides sont classés en 4 catégories[3] (désinfectants, produits de protection, produits antiparasitaires et autres produits) et sont définis comme étant des substances actives et des préparations contenant une ou plusieurs substances actives qui sont présentées sous la forme dans laquelle elles sont livrées à l'utilisateur et qui sont destinées à ;

3. Annexe V de la directive communautaire 98/8/CE

- Protéger les végétaux ou les produits végétaux contre tous les organismes nuisibles ou à prévenir leur action […] (ndlr : ces produits, destinés à soigner ou prévenir les maladies, sont également appelés « produits phytosanitaires »).
- Exercer une action sur les processus vitaux des végétaux, pour autant qu'il ne s'agisse pas de substances nutritives (par exemple, les régulateurs de croissance).
- Assurer la conservation des produits végétaux […].
- Détruire les végétaux indésirables […] ou détruire les parties de végétaux, freiner ou prévenir une croissance indésirable des végétaux.

Les « substances actives » sont ici définies comme des substances (composés chimiques à l'état naturel ou tels que produits par l'industrie) ou des micro-organismes (y compris des virus) qui exercent une action générale ou spécifique sur les organismes nuisibles ou sur les végétaux (en partie ou dans leur ensemble)[4].

Il est fréquent d'entendre parler des « pesticides » plutôt que des « biocides ». Comme expliqué ci-dessus, les pesticides font partie de la famille des biocides et regroupent les insecticides, les fongicides, les herbicides et les parasiticides. Chacune de ces substances ont un rôle bien précis dans la lutte des organismes nuisibles.

Type de pesticide	Utilisation
Insecticides	Lutte contre les insectes destructeurs.
Fongicides	Lutte contre les maladies sous forme de champignons.
Herbicides	Lutte contre les adventices (ndlr : « mauvaises herbes » et autres repousses).
Parasiticides	Lutte contre les animaux parasites (ex : vers)

Les insecticides, fongicides, herbicides et parasiticides sont une des méthodes utilisées pour lutter contre tous les agents nuisibles qui affectent le bon développement de la plante. Sans l'usage de certaines de ces substances, une culture peut être détruite dans son intégralité au point de

4. Directive 91/414/CEE du 15 juillet 1991, consultée le 06/08/2013.

ne plus pouvoir récolter la moindre matière valorisable auprès du consommateur. Dans le contexte économique actuel, les produits de synthèse se présentent donc comme un moyen d'action éprouvé, fiable et surtout ancré dans les habitudes. Raison pour laquelle ils font actuellement partie intégrante du schéma de l'agriculture traditionnelle.

La culture « BIO » - logique

L'agriculture biologique ou « bio » consiste principalement à supprimer l'usage de tout produits de synthèse (à l'exception de certains autorisés par des cahiers des charges et règlements). Cette méthode vise à diriger l'agriculteur vers les méthodes d'une agriculture raisonnée dont l'objectif est de limiter les impacts sur l'environnement mais également la santé humaine et animale. Pour préserver les cultures des organismes nuisibles, l'agriculture « bio » fait alors appel à des rotations de cultures étudiées avec soin, à des variétés plus résistantes aux maladies et conditions climatiques, à l'utilisation de cultures intermédiaires qui viendront appauvrir les adventices, à des engrais verts et, de manière générale, à des moyens de lutte biologiques ou mécaniques.

Ainsi, la lutte biologique consistera à introduire un prédateur pour les insectes parasites ou à développer des zones de refuge ou d'habitat que ces insectes privilégieront au lieu de la culture en elle-même. La lutte mécanique, quant à elle, s'inscrit plus dans un cadre de lutte contre les adventices. Comme expliqué précédemment, la destruction des adventices peut se faire via un herbicide ou, dans le cadre de l'agriculture biologique qui tend à diminuer l'usage de ces produits, via un labour profond destiné à déraciner et enterrer les mauvaises herbes. Cette lutte mécanique tendrait donc plutôt à ramener l'agriculture biologique au rang de l'agriculture traditionnelle dont les pratiques peuvent induire une dégradation de la qualité et de la vie des sols sur le long terme.

Second moyen de lutte mécanique, plus largement pratiqué, les outils comme la bineuse ou la houe rotative sont utilisés pour éliminer les pousses indésirables entre les rangs de la culture. Par action de ces outils, la mauvaise herbe est déracinée et meurt sur place. Les jeunes plants de céréales quant à eux subissent un traitement quasi-similaire mais ne meurent pas tous de par leur résistance plus élevée. Le principe de l'agriculture biologique requiert cependant de procéder à un semis d'une densité plus élevée (plus de semences par unité de surface) afin, justement, de pallier cette

perte due au désherbage mécanique[5]. Cette pratique a cependant ses limites car elle requiert des conditions climatiques adéquates. En effet, un travail mécanique sur un sol mouillé peut entraîner des difficultés techniques et provoquer des dégâts (ex : un tracteur embourbé peut endommager profondément la structure du sol).





Fig. 58 : Exemple d'une bineuse (à gauche) et d'une houe rotative (à droite) utilisées pour le désherbage mécanique des céréales. (Source : direct-affaires.fr).

Sous la pression des marchés, l'agriculteur est ainsi amené à devoir faire des choix qui favoriseront la bonne évolution de sa culture ou de son sol et permettront d'obtenir une marchandise qui répondra aux attentes des consommateurs et in fine, lui permettront de rentabiliser ses investissements.

Outre ces aspects, et selon la philosophie de l'auteur de projet ou des maitres d'ouvrage, l'agriculture biologique ou l'agriculture « raisonnée » pourraient représenter un attrait non négligeable pour la production de paille à destination de la construction. En effet, la réduction de l'usage de produits de synthèse se révéle être un avantage considérable dans le cas d'une analyse de cycle de vie (ACV) de parois en paille. Cependant, certains freins s'opposent encore à la concrétisation de cette hypothèse ;

- Les agriculteurs pratiquant la culture « bio » sont encore peu répandus et n'ont pas toujours des surfaces importantes de céréales qui y sont consacrées. Les chiffres disponibles actuellement ne permettent pas de vérifier de manière certaine si le potentiel paille « bio » peut répondre à la demande du secteur de la construction en paille.

5. Témoignage de Mr D., agriculteur rencontré dans le cadre de la recherche.

- L'absence de grandes parcelles de céréales « bio » ne permet pas l'obtention de ballot de paille de qualité. En effet, l'homogénéité d'un ballot s'obtient généralement en pressant un andain de paille de manière constante et sans variation dans la quantité de produit qui entre dans la presse. Les petites surfaces induisent irrémédiablement des andains de faibles longueurs et de consistance variable ; la moissonneuse-batteuse s'arrête plus souvent dans une petite parcelle pour effectuer des manœuvres que dans une grande.

- En agriculture biologique, l'engrais vert est favorisé. Il se manifeste généralement par l'usage de compost, de fumier ou autres, mais également par un retour direct de la paille au sol, broyée par la moissonneuse-batteuse lors de la récolte. L'exportation de paille n'est alors pas envisagé, réduisant d'autant plus le potentiel paille « bio » pour la construction.

- Dans un registre plus large, freinant la généralisation du « bio », la caractéristique des blés biologiques est d'avoir des teneurs en protéines relativement faibles, dépassant difficilement 11 %[6]. Même s'il est possible de faire de très bons pains avec des teneurs en protéines faibles, c'est souvent sur ce critère que repose la fixation des prix payés au producteur. De plus, il existe une relation inversément proportionnelle entre le rendement et le taux de protéines. L'agriculteur de blé « bio » se trouve donc devant un dilemme à savoir arriver à de bons rendements avec peu de protéines ou limiter la production pour atteindre un niveau de protéines suffisant.

Enfin, un des avantages d'une paille issue de l'agriculture biologique ou « raisonnée » serait qu'elle ne présente pas de traces de l'utilisation de produit phytopharmaceutiques, contrairement à une paille issue d'un autre modèle agricole. Cependant, dans le cadre de la recherche « aPROpaille », il n'a pas été possible de vérifier et mettre en évidence la présence de ces substances dans la paille ni d'en déterminer l'impact sur la santé humaine une fois le ballot mis en œuvre dans la paroi. Selon le CRA-W (Centre Wallon de Recherche Agronomique), la dégradation des pesticides étant relativement rapide, il y'a peu de risques de voir des substances actives atterrir dans les murs d'une habitation.

6. http://www.cebio.be/producteurs/grandesculturesbooster.html.

En résumé :

- Le choix d'un agriculteur pratiquant une agriculture biologique ou « raisonnée » peut s'avérer être intéressant vis-à-vis de la quantité de produits de synthèse utilisée lors de la croissance de la culture.
- N'ayant pas été possible de démontrer l'impact sur la santé que pourraient avoir les ballots de paille issus d'une agriculture traditionnelle (du point de vue des résidus de produits de synthèse), cet aspect sera laissé à l'appréciation des maitres d'ouvrage ou de l'auteur de projet
- L'agriculture biologique fait également usage d'engrais de ferme dont les impacts sur l'environnement ne sont pas (ou peu) étudiés contrairement aux produits de synthèse. La concentration de certains de ces engrais de ferme peut se révéler être plus « agressive » que les produits utilisés dans l'agriculture traditionnelle.

Recommandations pour un ballot de paille de qualité

Le secteur de la construction exige des matériaux de qualité, certifiés, répondant à une série de critères qui feront de ces matériaux des éléments de référence pour un bâtiment de qualité. Dans cette même optique, pourquoi ne pas certifier un ballot de paille ou, tout du moins, son mode de production ? Sans prétendre à définir un cahier des charges exhaustif et répondant aux attentes de chacun des acteurs de la construction en paille, la synthèse suivante devrait permettre tant à l'agriculteur qu'au maître d'ouvrage de définir en amont de la production ce qu'est un ballot de paille de qualité pour le secteur de la construction.

Tableau de synthèse des activités agricoles
pour les principales céréales utilisées dans la construction en paille.

	Froment d'hiver			Épeautre			Seigle			Orge de brasserie (printemps)			Orge d'hiver			Tricale		
	Préparation du sol et semis	Application des intrants	Récolte (grain et paille)	Préparation du sol et semis	Application des intrants	Récolte (grain et paille)	Préparation du sol et semis	Application des intrants	Récolte (grain et paille)	Préparation du sol et semis	Application des intrants	Récolte (grain et paille)	Préparation du sol et semis	Application des intrants	Récolte (grain et paille)	Préparation du sol et semis	Application des intrants	Récolte (grain et paille)
Décembre																		
Novembre																		
Octobre																		
Septembre																		
Août																		
Juillet																		
Juin																		
Mai																		
Avril																		
Mars																		
Février																		
Janvier																		

LA PAILLE : QUAND ET COMMENT ?

Calendrier des activités agricoles

Pour une personne extérieure au monde agricole, le défilé d'engin de tout genre peut parfois surprendre et susciter l'interrogation. En effet, les activités agricoles sont nombreuses et variées tout au long de l'année. Pour le candidat bâtisseur, identifier le moment idéal pour rencontrer l'agriculteur avant le début d'une activité particulière (semis, traitement ou récolte) peut s'avérer être important pour la définition de certains critères de production et/ou de sélection des futurs ballots servant à la construction de son habitation. Afin de faciliter cette tâche, le calendrier ci-dessus est présenté afin de permettre aux différents acteurs de prendre connaissance de la période sur lesquelles les activités agricoles se déroulent, ceci afin de faciliter la gestion d'une future production.

Ce calendrier ne reprenant que les céréales les plus couramment rencontrées ou utilisées dans le milieu de la construction, il pourra tout de même être extrapolé à d'autres cultures d'hiver ou de printemps. De manière générale, sauf cas exceptionnel pour la récolte notamment, la périodicité des étapes de production d'une culture de printemps sera similaire à celles du froment de printemps (ou orge de printemps dans ce cas) et celles d'une culture d'hiver à celles du froment d'hiver.

Définir et anticiper la demande

Obtenir une quantité importante de ballots adaptés à la construction n'est pas une chose à prévoir à la dernière minute et nécessite des contacts et une coordination anticipés avec l'agriculteur. Il convient par exemple, pour le candidat bâtisseur, de prendre en charge l'organisation de la livraison afin de ne pas laisser l'agriculteur gérer la totalité des opérations. Un partage équitable des tâches permet généralement une bonne entente dès le départ et facilite les discussions relatives aux critères de sélection des futurs ballots.

Dans cette même optique, il conviendra de définir clairement l'usage qui sera fait des ballots que l'agriculteur doit produire. Par exemple, en sachant que ces ballots sont à destination de la construction (un secteur plus « exigeant » que celui de l'élevage), l'agriculteur sera informé de l'attention à apporter à la production et que celle-ci sera soumise à certaines conditions lors de l'achat (voir ci-dessous). Il pourrait donc en résulter un prix de vente

plus important. Les conditions d'achat pouvant être un frein pour l'agriculteur, il peut alors être intéressant d'établir un contrat qui liera les deux parties. Par l'intermédiaire de ce document, le candidat bâtisseur définira ses attentes ce qui permettra d'impliquer l'agriculteur dans le processus de sélection des ballots. De son côté, ce dernier disposera en retour d'indication précise quant au résultat attendu mais également, et surtout, de l'assurance d'une vente future avant même la période des moissons. La paille n'est ainsi pas produite sans certitude vis-à-vis de son utilisation. En effet, une attention particulière aux critères de sélection ayant été apportée lors de la production, ce travail supplémentaire doit s'avérer être payant pour le producteur.

Le contrat dont il est question, pourrait faire appel aux exemples de clauses ci-dessous ;

- De nombreuses tâches d'humidité compromettant la qualité du ballot.
- Un ballot sans cohésion, friable et non adaptés à la mise en œuvre dans une paroi.
- Un non-respects des dimensions notables (une erreur de +/- 2 cm est normale et acceptable. Une erreur de +/- 10 à 15 cm est cependant facilement évitable).

La paille ne respecterant pas les critères établis dans le document de base pourra toujours être valorisée comme matériau secondaire sur chantier pour notamment combler des espaces de faibles dimensions dans une paroi, entrer dans la composition d'enduit « terre-paille », etc.

S'entendre sur les critères de sélection

Tels que définis ci-dessous, les critères de sélection sont conseillés par la recherche mais peuvent s'adapter aux cas rencontrés. Le contrat entre le maître d'ouvrage et l'agriculteur peut reprendre l'ensemble ou une partie des critères ainsi que leur définition.

CRITÈRES DE SÉLECTION

Choix du mode cultural

Aujourd'hui, en agriculture, des inhibiteurs de croissance sont utilisés pour contrôler la hauteur du plant de céréale et ainsi éviter le phénomène de

verse ; sous l'action du vent le plant se brise à sa base et se couche sur le sol. Sa croissance en est impactée suite aux conditions défavorables qu'il rencontre en surface du sol (humidité trop importante, développement de champignon, mauvaise exposition au soleil et au vent, …). Lors d'un usage intensif de ce type de produit, la longueur de la tige de paille avant récolte se retrouve déjà fortement réduite et peut conduire, in fine, à la production de ballots friables, sans cohésion. Il pourrait donc être pertinent d'effectuer le choix de l'agriculteur (et donc du mode cultural) en fonction de la longueur de la fibre de paille que ce dernier est susceptible de produire.

Selon la philosophie des maitres d'ouvrage et/ou de l'auteur de projet le choix du mode cultural pourrait également s'appliquer au niveau de l'aspect « santé ». En effet, une agriculture intensive faisant usage de quantités importantes de produits de synthèse pourrait présenter un risque plus important pour la santé humaine en cas d'usage de substances actives pendant plusieurs années. L'agriculture « bio » ou, de manière plus large, la pratique d'une agriculture « raisonnée » est généralement présentée comme une alternative crédible à cette problématique. L'usage de produits de synthèse y est en effet fortement réduit au profit de travaux mécaniques ou d'agents de lutte naturels. La paille produite serait donc de meilleure qualité du point de vue de la santé humaine.

Remarque générale

Il est recommandé au candidat bâtisseur de prendre contact au plus tôt avec l'agriculteur et de discuter avec celui-ci de la gestion de ses terres. Un questionnement relatif aux quantités et produits qu'il utilise, et à sa conception de l'agriculture peut rapidement permettre de cibler la façon dont celui-ci travaille et l'attention qu'il apportera aux exigences du secteur de la construction.

Choix des céréales

Les pailles de froment d'hiver, d'orge d'hiver et parfois de seigle sont les plus répandues dans le milieu de la construction en paille. Ces pailles ont été testées dans le cadre de la recherche et semblent effectivement correspondre à un choix raisonnable (voir Vadémécum n° 2). Il existe cependant de nombreuses autres céréales qui pourraient tout à fait correspondre à une mise en œuvre dans le bâtiment (ex : triticale, avoine, …). Ces pailles n'ont cependant pas été testées dans le cadre de la recherche.

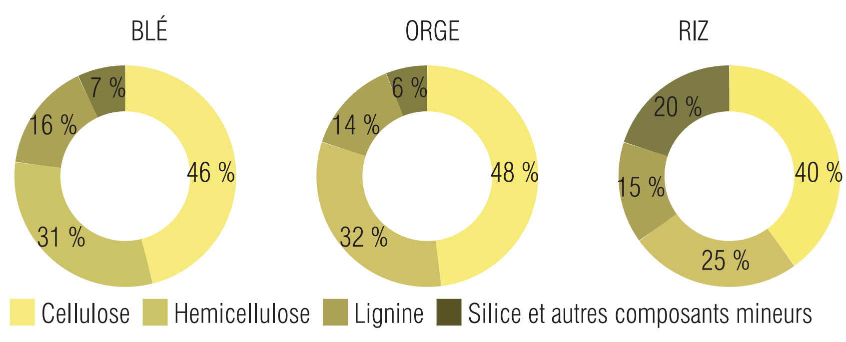


Fig. 59 : Composition de la paille en fonction de la céréale. (Source : KING Bruce et DE BOUTER André, *Concevoir des bâtiments en bottes de paille*.

Il est également fréquent d'entendre parler de paille de riz. Cette paille présenterait des performances hygrothermiques plus intéressantes, notamment en raison de sa composition plus élevée en silice qui la rend plus résistance à la décomposition (voir graphe ci-dessus[7]). Cependant, ce produit ne faisant pas partie des ressources locales, il n'a pas été possible d'en tester les performances durant la recherche.

Choix des techniques

Quand on en arrive au moment de la récolte, le choix des techniques utilisées devient le seul facteur clé qui déterminera la qualité des ballots produits. Il conviendra donc, pour chaque étape de la production, de veiller à certaines règles de bonne pratique qui facilitent l'obtention d'un ballot de paille répondant aux souhaits du secteur de la construction.

La récolte des céréales

La moisson en elle-même est avant tout un travail de récolte de la céréale en tant que grain. La paille est parfois moins mise en avant et est généralement broyée afin de garantir un retour de matière organique au sol. Certains agriculteurs exportent tout de même leurs pailles selon certaines règles d'usage dans le monde agricole. C'est auprès de ces agriculteurs qu'il convient de discuter des recommandations émises ci-dessous.

---

7. Source : KING Bruce, DE BOUTER André, *Concevoir des bâtiments en bottes de paille* p.26, 2009 – Éditions La Maison en paille.

Choix de la moissonneuse

Privilégier les moissonneuses qui sauvegardent tant la longueur de la fibre que sa section. Ce choix peut s'effectuer en consultant les chapitres précédents.

Moissonneuse « à rotor »

Les moissonneuses à «rotor» seront si possibles évitées pour leur propension à écraser la fibre lors du passage dans le rotor en question.

Moisonneuse conventionnelles

Les moissonneuses conventionnelles dites «à batteurs» sont connues pour produire de plus belles pailles, intactes et non écrasées. Leur inconvénient étant l'obtention de paille de longueur plus courte que les machines à rotor, il sera alors conseillé à l'agriculteur d'ouvrir le batteur afin de diminuer le taux d'endommagement des pailles et de rouler moins vite afin d'éviter les pertes de grain.

Ces précautions entraînant un temps de travail plus long, il pourrait être intéressant de discuter avec l'agriculteur de la possibilité de battre la paille pour la construction en dernier lieu afin que ce dernier ne soit pas pressé par le temps et la nécessité de s'occuper d'autres terres.

Largeur de coupe

De manière générale, il est recommandé de privilégier les faibles largeurs de coupe. En effet, l'usage de coupes de plus de 5,20 mètres a tendance à former des andains plus larges et plus hauts empêchant non seulement l'usage des presses moyennes densités (dont les pick-up ne disposent pas de largeur importantes) mais également un séchage correct au cœur de l'andain. En cas d'humidité importante (après récolte ou lors de fortes précipitations), il sera alors nécessaire de retourner les pailles via un travail mécanique abîmant la structure des fibres.

La production du ballot de paille

La production du ballot de paille passe inévitablement par l'usage d'une presse agricole. Généralement, il s'agit de presse moyenne densité, bien que certains projets de construction aient fait usage de ballots à haute densité. Dans les deux cas, il conviendra d'éviter tant que faire se peut l'usage d'outils destinés à retourner ou déplacer l'andain de paille, ceux-ci

ayant tendance à abîmer la paille. L'utilisation de la presse se fera selon les recommandations suivantes ;

Régularité de l'andain

Le conducteur de la presse veillera à réaliser les ballots à destination de la construction dans des lignes offrants des andains de taille régulière, ceci afin de garantir une alimentation constante de la presse. En effet, une irrégularité dans la quantité de marchandise entrant dans la presse entraîne irrémédiablement une irrégularité dans la forme et les dimensions du ballot.

La régularité des andains n'est cependant pas un élément totalement maîtrisable par l'agriculteur. Les andains irréguliers proviennent généralement d'une vitesse d'avancée différente de la moissonneuse ou d'un arrêt de celle-ci. Des paramètres indépendants de la volonté du chauffeur qui se doit de respecter un fonctionnement correct de la machine et d'immobiliser celle-ci lors de problèmes techniques, plus fréquents qu'on ne le pense (bourrage du batteur, accumulation de terre sur la coupe, bris de couteaux de coupe, …).

Qualité de la paille pressée

Les pailles situées dans les forrières (ndlr : en bordure de champ) ou le long des bois peuvent présenter un stade de croissance moins avancé et un taux d'humidité plus élevé. Il est donc recommandé d'éviter de prendre des ballots provenant de ces emplacements. Les « taches de vert » dans un champ (ndlr : une accumulation locale de végétaux étrangers à la culture) seront évitées lors de la production des ballots afin de réduire les compositions mixtes alors constituées de paille et de jeunes fibres chargées en eau. Les ballots résultants de ce type de mélange conservent un taux d'humidité important pendant une période relativement longue et pourraient présenter des performances hygrothermiques différentes.

Timing

Un pressage en fin de journée, voire en début de soirée, permet de bénéficier d'un taux d'humidité à la hausse (mais toujours acceptable) favorisant ainsi l'obtention d'une paille moins cassante lors de son passage dans la presse. En effet, en période estivale et durant des journées très sèches, la paille pressée en milieu de journée a tendance à être beaucoup plus cassante.

Réglage et utilisation de la presse

Rouler à vitesse constante afin de favoriser une alimentation constante de la presse.

Éviter autant que possible de rouler avec le tracteur sur l'andain. Des « soleils » (peignes rotatifs destinés à rassembler l'andain sur une largeur moins importante) peuvent être fixés sur les côtés du pick-up dans le cas où l'andain serait trop large.

Assurer un entretien régulier de la presse (synchronisation des aiguilles et du piston, ajustement de la position des dents de l'ameneur afin d'éviter des ballots de formes irrégulières, soufflage et graissage des noueurs, etc.).

Une personne supplémentaire (ex : le candidat bâtisseur) peut se tenir à proximité de la presse lors de la réalisation des premiers ballots afin d'assurer le réglage des vis à ressorts situées en fin de canal (inutile en présence de vérins dans le cas d'un dispositif hydraulique) et la crémaillère située à proximité des noueurs en aval du canal. Ces deux éléments permettant de régler respectivement la densité et la longueur des ballots, ils devront bénéficier d'un contrôle très précis en début de pressage mais également de manière régulière tout au long du travail.

Choix de la ficelle

Le choix de la ficelle est également une composante déterminante pour l'obtention d'un ballot facilement manipulable et susceptible de ne pas se défaire lors de manipulation plus brutale. L'unité utilisée pour déterminer le type de ficelle est le « mètre/kg ». On exprime ainsi la longueur de ficelle disponible par kilo. Le conditionnement se faisant sous la forme d'emballages cylindriques aux dimensions standardisées, la seule variable existante sera le diamètre de la ficelle. Il n'existe pas de règles particulières quant au choix d'un type de ficelle par rapport à un autre. Généralement, l'agriculteur aura testé plusieurs types de ficelle et aura effectué un choix qui garantira la bonne tenue des ballots aux différentes contraintes qui lui seront appliquées.

Remarque générale

Ne jamais perdre de vue que les presses agricoles sont des machines parfois très capricieuses… Il est fréquent de devoir procéder à de longs réglages avant d'obtenir le ballot souhaité. Il convient donc de conserver

un esprit critique face aux critères imposés à l'agriculteur et, dans la mesure du possible, d'être présent au côté de celui-ci pour l'aider dans cette tâche et juger de la pertinence de respecter certains critères par rapport à d'autres.

Choix du mode de stockage

Le stockage des ballots est l'ultime étape entre leur production et leur mise en œuvre sur chantier. La période de stockage pouvant être relativement variable d'un chantier à l'autre, il convient d'en assurer la qualité afin de garantir la pérennité des ballots achetés. Pour ce faire, les recommandations de base suivantes peuvent être appliquées.

Support de stockage
Le stockage des ballots se fera sur palette ou sur tout autre dispositif permettant de décrocher les ballots du sol. Cette pratique garantira une bonne ventilation des ballots permettant ainsi de conserver un taux d'humidité acceptable ainsi qu'une protection contre les remontées capillaires en cas de stockage sur sol humide.

Protection
En cas de stockage sous bâche à l'extérieur, la mise en place de palettes ou d'éléments similaires sous la bâche au sommet de la meule permettra de garantir une pente suffisante pour l'évacuation des eaux. En l'absence d'un tel dispositif, des poches d'eau ou de neige peuvent se former au sommet de la meule et s'infiltrer entre les ballots en cas de détérioration de la bâche.

Prévention
Il convient de conserver à l'esprit qu'un stock important de paille attirera inévitablement les rongeurs qui établiront leurs nids dans les interstices situés entre des ballots non-accolés et rongeront les ficelles. La prévention des dégâts causés par ces animaux étant relativement difficile à intégrer, les règles de bonnes pratiques recommandent de prévoir un stock légèrement supérieur à la quantité nécessaire, ceci afin de prévoir la dégradation des ballots situés en périphérie de la meule et soumis tant aux attaques des rongeurs qu'aux éléments climatiques. Une perte allant jusqu'à 10 % de la totalité du stock peut être observée dans certains cas[8].

---

8. Témoignage d'un agriculteur rencontré dans le cadre de la recherche.

Choix des ballots

Le choix des ballots à destination de la construction peut s'effectuer sur une série de critères prédéfinis lors d'un entretien préalable avec l'agriculteur. Certains d'entre eux étant facilement contrôlables, ils peuvent faire l'objet d'une obligation lors de la production. D'autres, plus dépendants du climat ou des caractéristiques du matériel utilisé sont à renseigner comme recommandations plutôt que comme obligations.

Les paragraphes suivants émettent des critères pouvant faire l'objet d'obligations ou de recommandations. Ils sont un condensé de conseils récoltés lors de rencontre d'agriculteur dans le cadre de la recherche mais également d'informations issues de documents tels que les RPCP[9] ou l'agrément technique allemand n°Z-23.11-1595[10].

Critères pouvant faire l'objet d'obligation et de contrôle lors de la production

La densité du ballot

- La densité, mesurée sur base du rapport entre la masse du ballot et son volume et exprimée en kg/m^3, sera comprise entre 90 et 110 kg/m^3. Une erreur de plus ou moins 5 % est acceptable aux vues des difficultés à obtenir un ballot aux dimensions constantes lors de la production.

La longueur des fibres

- Le ballot sera composé à plus de 90 % en masse de fibres d'une longueur de minimum 25 cm. Les poussières, menues pailles et enveloppes de grains seront évitées dans les limites rendues possibles par les réglages des machines.

Les dimensions du ballot

- La section du ballot est fixée par les dimensions du canal de compression. Ces dimensions sont dépendantes du fabricant de la presse et sont donc fixes. La longueur du ballot est quant à elle variable et obtenue par réglage de la crémaillère mais

9. *Règles Professionnelles de Construction en Paille*, Réseau Français de la Construction en Paille & les «Compaillons», 2011, Éditions Le Moniteur.

10. ATG Z-23.11-1595 – Produit isolant thermique constitué de ballots de paille «Ballots de paille pour la construction».

est également dépendante des facteurs présentés dans le chapitre précédent. Il est donc possible d'apposer un critère sur la longueur du ballot afin que celle-ci s'adapte aux particularités du mode constructif choisi. Si il est acceptable de refuser des ballots dont la longueur excède de 10 à 15 cm celle souhaitée, il est par contre déconseillé d'être trop exigent sur ce critère et de refuser des ballots dont la différence de longueur est de l'ordre de +/- 5 cm.

La teneur en eau

- La teneur en eau peut être contrôlée à deux reprises ; avant le pressage de la paille via une mesure prise directement dans l'andain, ou bien lors de la mise en stockage via une mesure prise au cœur du ballot par l'intermédiaire d'un testeur d'humidité adapté à une utilisation dans le milieu agricole.

- Pour un bon pressage, la teneur en eau sur poids sec du ballot de paille ne doit pas excéder **25 %**. Les ballots, une fois pressés, peuvent être laissés sur le champ pour profiter d'un séchage prolongé par action du vent et de l'exposition au soleil.

- Pour un stockage dans des conditions idéales, la teneur en eau mesurée ne doit pas excéder **20 %**. Le stockage aura alors lieu dans un endroit suffisamment ventilé et situé à l'abri des intempéries.

- Enfin, à la sortie du stockage, il est recommandé que le ballot mis en œuvre dans le bâtiment présente une teneur en eau de +/- **15 %**.

Critères pouvant faire l'objet de recommandations et de contrôle lors de la production

Qualité de la fibre

- Bien qu'aucun test n'ait mis en évidence la qualité d'une céréale par rapport à une autre, il fut tout de même constaté que les meilleurs résultats étaient obtenus sur des ballots qui présentaient une fibre de grande dimension et de calibre important. Dès lors, il pourrait être intéressant de privilégier des céréales qui produisent une paille de section importante et/ou qui permet de conserver l'intégralité de sa structure après les différents travaux mécaniques.

- Une autre possibilité pourrait également être d'inviter l'agriculteur à reconsidérer l'usage des ralentisseurs de croissance dans le but d'obtenir une paille plus longue. Cette recommandation doit cependant être analysée avec précaution afin de tenir compte du risque de verse sur la parcelle et de l'impact sur la qualité du grain.

Présence de taches

- La présence de taches sur la paille peut signifier que celle-ci contient déjà une teneur en eau trop élevée et qu'un phénomène de décomposition est en cours. Ce phénomène est remarquable par la présence d'odeur marquée de pourrissement, par la présence de larges taches sombres ou de filaments blancs[11]. Si certaines de ces taches ne semblent pas présenter de danger au premier regard, il faut garder à l'esprit qu'elle peut contenir des spores susceptibles de se développer s'ils rencontrent des conditions favorables après la mise en œuvre.

- A l'inverse, certaines taches sont tout à fait normales et résultent simplement de l'apparition de mousse sur la paille durant sa croissance. Lors de la phase de séchage de la fibre, avant la moisson, cette mousse se dessèche également et provoque l'apparition de taches brunâtres sans conséquences pour la mise en œuvre du ballot dans le bâtiment.

- En présence d'un lot de ballots présentant de nombreuses taches, le candidat bâtisseur peut ouvrir deux ou trois ballots afin d'analyser plus en profondeur l'étendue des taches en question et d'éventuellement constater la présence d'une décomposition avancée.

Présence de vert

- La présence de vert (ndlr : de végétaux étrangers à la paille et encore chargé en humidité) en grande quantité dans la paille induisent inévitablement un taux d'humidité plus élevé de celle-ci. Il peut dès lors y avoir un risque plus élevé pour la paille si celle-ci est mise en œuvre sans être séchée au préalable.

11. *Règles Professionnelles de Construction en Paille*, Réseau Français de la Construction en Paille & les « Compaillons », 2011, Éditions Le Moniteur.

- Outre le risque de dégradation pour la paille, une présence abondante de vert dans la paille peut également représenter un attrait pour les rongeurs du point de vue de la nourriture.

- Afin d'éviter ces désagréments, il pourrait être convenu avec l'agriculteur que seuls les ballots pressés en dehors des forrières et des taches de vert visibles dans le champ seront achetés par le candidat bâtisseur.

L'orientation de la fibre au sein du ballot

- Les nombreuses observations réalisées dans le cadre de la recherche n'ont pas permis de vérifier la théorie selon laquelle certaines presses auraient tendance à orienter la fibre au sein du ballot. Des effets «de bords» ont été constatés mais ceux-ci disparaissent au fur et à mesure de l'avancée vers le centre du ballot.

- Des résultats plus concluants ont cependant été obtenus lorsque le flux de chaleur était perpendiculaire à la fibre, cas rencontré lorsque l'on considère le ballot dans sa longueur (voir rapport de test dans le vadémécum n° 2). Il pourrait dès lors être intéressant de convaincre l'agriculteur de réaliser des ballots d'une longueur équivalente à l'épaisseur de la paroi. Cette recommandation se doit d'être testée par l'agriculteur avant toute chose, afin de confirmer que la machine est en mesure de produire des ballots d'une longueur largement inférieure à la normale. Dans un tel cas, la manutention nécessaire au ramassage des ballots s'en retrouvera décuplée, chose susceptible de freiner un grand nombre d'agriculteur. Idéalement, le candidat bâtisseur pourrait se proposer pour prendre à sa charge la gestion du ramassage de ces ballots hors normes.



IMPACT D'UNE NOUVELLE FILIÈRE

INTRODUCTION

Il n'est pas rare, en fréquentant les acteurs de la construction en paille, d'entendre parler de chiffres clés mêlant l'agriculture à la construction ; « Avec X % de la paille produite en Belgique, on peut construire Y % des constructions neuves chaque année ». Ces discours, tantôt argumentés, tantôt utopiques, soulèvent tout de même une question pertinente ; quel est le réel potentiel paille disponible pour le secteur de la construction ? A-t-on besoin de quantités conséquentes de paille pour couvrir un pourcentage représentatif du parc immobilier Belge ? Le développement d'une filière « paille pour la construction » pourrait-il mettre en péril ces ressources agricoles déjà fortement menacées par le développement d'autres filières de valorisation ?

Par l'intermédiaire de l'étude suivante, des données issues du SPF Economie, d'experts en agriculture et d'acteurs de la construction en paille seront croisées afin d'apporter des éléments de réponse.

LA PAILLE, UN ENGRAIS POUR L'AGRICULTURE

Avant de considérer la paille comme un matériau de construction, il convient d'en cerner l'importance aux yeux des agriculteurs et son rôle dans la conservation de la qualité des sols. Il est en effet fréquent d'entendre parler de la paille en tant que « déchet de l'agriculture ». Une considération négative et une appellation erronée si on la considère du point de vue agricole.

Il existe principalement deux types d'agriculteurs en Belgique. L'agriculteur orienté « grandes cultures » (ex : producteur de céréales), a peu ou pas de bétail et est installé dans le centre de la Wallonie pour profiter des richesses des nombreuses terres agricoles. L'agriculteur-éleveur, dont bon nombre d'entre eux sont situés notamment dans les régions ardennaises, exerce un métier principalement orienté vers l'élevage de bétail à destination de la chaine alimentaire humaine (viande ou lait). Ces deux activités sont complémentaires ; l'agriculteur-éleveur a un besoin en paille pour la litière de ses animaux, tandis que l'agriculteur producteur a un besoin d'engrais naturel pour fertiliser ses terres. Une filière courte s'est ainsi développée, appelée « échange paille-fumier » et dans laquelle l'agriculteur producteur va exporter ses pailles à destination de l'agriculteur éleveur et obtenir, en retour de celui-ci, le fumier obtenu par mélange des excréments du bétail avec la paille lui servant de litière. Cet engrais,

parmi les plus riches, représente ce qu'il se fait de mieux en termes d'apport de matière organique et d'éléments minéraux au sol.

Bien que le secteur de l'élevage représente une demande importante en paille, l'agriculteur qui s'orientera vers les grandes cultures peut également choisir de broyer sa paille et de la restituer directement au sol. Selon les besoins, la paille connaitra donc deux types de valorisations principales, toutes ayant le même objectif final : permettre un retour de matière organique au sol. En effet, l'exportation des pailles hors du champ entraîne un impact négatif sur la quantité de matières organiques contenues dans le sol et sur sa teneur en éléments fertilisants (azote, phosphore, potassium). Selon la fréquence d'exportation des pailles et la richesse naturelle du sol, cet impact peut être plus ou moins significatif.

Le taux d'azote (N) dans le sol est un élément important à considérer du fait de son rôle majeur dans le développement des cultures. Trop peu d'azote entraîne une mauvaise croissance de la plante tandis que trop d'azote conduit vers une saturation de la plante mais également de son milieu de vie. En cas d'importantes accumulations d'eau (fortes pluies, dégels,…), les nitrates (contenant l'azote) seront entraînés par lessivage vers les nappes phréatiques et cours d'eau, créant des problématiques de développement intensif d'algues qui altèrent les conditions de vie de la faune aquatique. L'exportation des pailles permet d'éviter une immobilisation de l'azote du sol et ce phénomène de lessivage permet l'apport d'une quantité plus importante d'azote minérale en automne-hivers (ndlr : par apport de fumier, par exemple). En effet, les éléments lignifiés ont tendance à mobiliser la biomasse microbienne (bactéries et champignons) pour leur dégradation. Ces organismes consomment jusqu'à 20 à 30 kg d'azote minéral présent dans le sol mais limitent la perte de nitrate par lessivage[12]. L'agriculteur se doit donc de gérer intelligemment l'exportation de ses pailles et peut, dans certains cas, faire usage des cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN). Ces CIPAN sont implantées en fin d'été, après la récolte, et fixe le surplus d'azote contenu dans le sol évitant ainsi la problématique du lessivage. Une fois détruite, cette culture intermédiaire restituera l'azote à la culture suivante.

---

12. MIGNON Christelle, *Agro-combustibles : Analyse de la disponibilité de la paille* – Val-Biom asbl - Avril 2011.

Outre les deux valorisations possibles présentées ci-dessus, de nouvelles filières voient le jour. C'est le cas notamment de la biométhanisation, (secteur de la production d'énergie), des biomatériaux, (secteur de la construction), ... Certaines de ces filières permettent, en fin de cycle, un retour au champ de la matière organique sous forme de digestat dans le cas de la biométhanisation ou de paille intacte valorisée comme litière pour le bétail dans le cas de la construction. D'autres par contre transforment la matière organique et ne permettent pas de retour au sol en fin de cycle (ex : industrie du textile, artisanat, …).

Dans cet ensemble de flux entrants et sortants, il devient vite nécessaire de garantir un minimum de contrôle afin de ne pas altérer la qualité des sols sur le long terme en cas d'exportation sans retour de matière organique au sol. Les informations décrites ci-dessus n'étant qu'une part infime des nombreux paramètres entrants en ligne de compte dans la gestion d'une culture, il devient plus facile de comprendre le rôle joué par le retour au sol de la matière organique. La paille ne devrait-elle pas alors être considérée comme un véritable engrais pour l'agriculture plutôt que comme un «déchet» de la production des céréales?

Les témoignages récoltés dans le cadre de la recherche vont tous dans ce sens et sont assez édifiants.

«D'un point de vue agronomique la matière organique doit être restituée d'une façon ou d'une autre au sol pour que celui-ci garde une bonne teneur en M.O.»

«L'année passée on a déjà observé une pénurie de paille dans certaines régions de France, pour les élevages. Cela dépend des rendements mais cela prouve que la paille n'est pas un déchet mais elle est bien utile.»

«Certaines années, il n'y a pas assez de disponibilité pour le bétail.»

«La paille est à utiliser prioritairement pour maintenir/augmenter la matière organique dans les sols et pour le bétail.»

«L'agriculteur privilégiera d'abord la paille pour son utilisation donc votre projet sera sur le surplus de production.»

LE POTENTIEL «PAILLE POUR LA CONSTRUCTION» EN BELGIQUE

Hypothèses

Déterminer le potentiel «paille exportable du sol» est un exercice complexe aux vues des divergences d'opinions quant à la valorisation des pailles en Belgique.

Une étude réalisée par l'INRA et Arvalis[13] fait état d'une légère diminution du stock de carbone sur des projections à 50 ans, en cas d'exportation d'une paille sur trois (Source : ValBiom – avril 2011). En opérant une bonne gestion des apports d'éléments essentiels à la suite de l'exportation de la paille, on pourrait donc considérer que 33 % des pailles peuvent être exportées du sol dans une filière qui ne permet pas un retour rapide de la matière organique. Bien que ces chiffres aient été déterminés sur base d'une agriculture pratiquée dans les régions céréalières françaises, et par manque de données propres à la Belgique, ils seront adaptés au cas des campagnes wallonnes moyennant certaines réserves.

Le rapport d'une paille sur trois (= 33 % : que nous appellerons « coefficient d'exportation ») présenté par l'étude française semble rassembler la totalité des pailles exportées du sol[14]. Il en résulte donc que 67 % de la paille produite serait hachés sur place lors de la récolte et restitués au sol et jusqu'à 33 % maximum peuvent quant à eux être exportés du sol à destination de l'élevage et de toute autre filière demandeuse de cette matière première. Notre coefficient d'exportation est donc de maximum 33 % de la quantité totale de paille produite.

Le but de cette étude étant de définir un potentiel paille exportable du sol (sans retour de la matière organique) pour des filières autres que l'agriculture, il convient de discuter la position occupée par certaines d'entre elles. Ainsi, il peut être considéré que la biométhanisation ne fasse pas partie de ce groupe de filières. En effet, à l'issue du processus de biométhanisation, les pailles incorporées ressortent sous forme de digestats qui conservent toujours leur potentiel humique[15]. Ces digestats étant

13. Arvalis – Institut du Végétal, juin 2005, utilisation de la biomasse pour des usages non alimentaires, cultures 2005, 8p.

14. Information obtenue de Mr. Bernard Bodson, professeur à la faculté de GEMBLOUX AGRO BIO TECH de L'ULG.

15. MIGNON Christelle, *Agro-combustibles : Analyse de la disponibilité de la paille* – ValBiom asbl - Avril 2011.

restitués au sol en tant que matière organique, la filière de biométhanisation peut être assimilée à une branche de l'agriculture du point de vue de la valorisation des matières organiques.

Aucune donnée relative aux quantités consommées par la biométhanisation n'étant disponible, il ne sera malheureusement pas possible de peser l'influence de cette filière sur les ressources en paille disponible pour l'élevage.

Ce point est également discutable pour la construction. En effet, selon les scénarios de fin de vie d'une paroi en paille, les ballots peuvent être restitués à l'agriculteur pour une valorisation en litière. Cependant, cette hypothèse étant critiquable et dépendante des filières restant à mettre en place elle ne sera pas considérée dans le cadre de cette étude.

Le coefficient d'exportation de 33 % précédemment définit regroupe donc les pailles à destination d'un premier type de filières qui permettent un retour au sol de la matière première (la litière pour l'élevage et la biométhanisation) et d'un second type de filières qui ne permettent pas ce retour dans l'immédiat (construction en paille, production d'énergie, biomatériaux,...). Afin de définir clairement le potentiel paille allouable à la construction en paille, un second facteur correctif (ndlr : le coefficient « aPROpaille ») est d'application et évoluera de 5 % à 50 % des quantités de paille obtenues via le coefficient d'exportation.

Les quantités de paille ainsi obtenues seront directement allouables au secteur de la construction en paille.

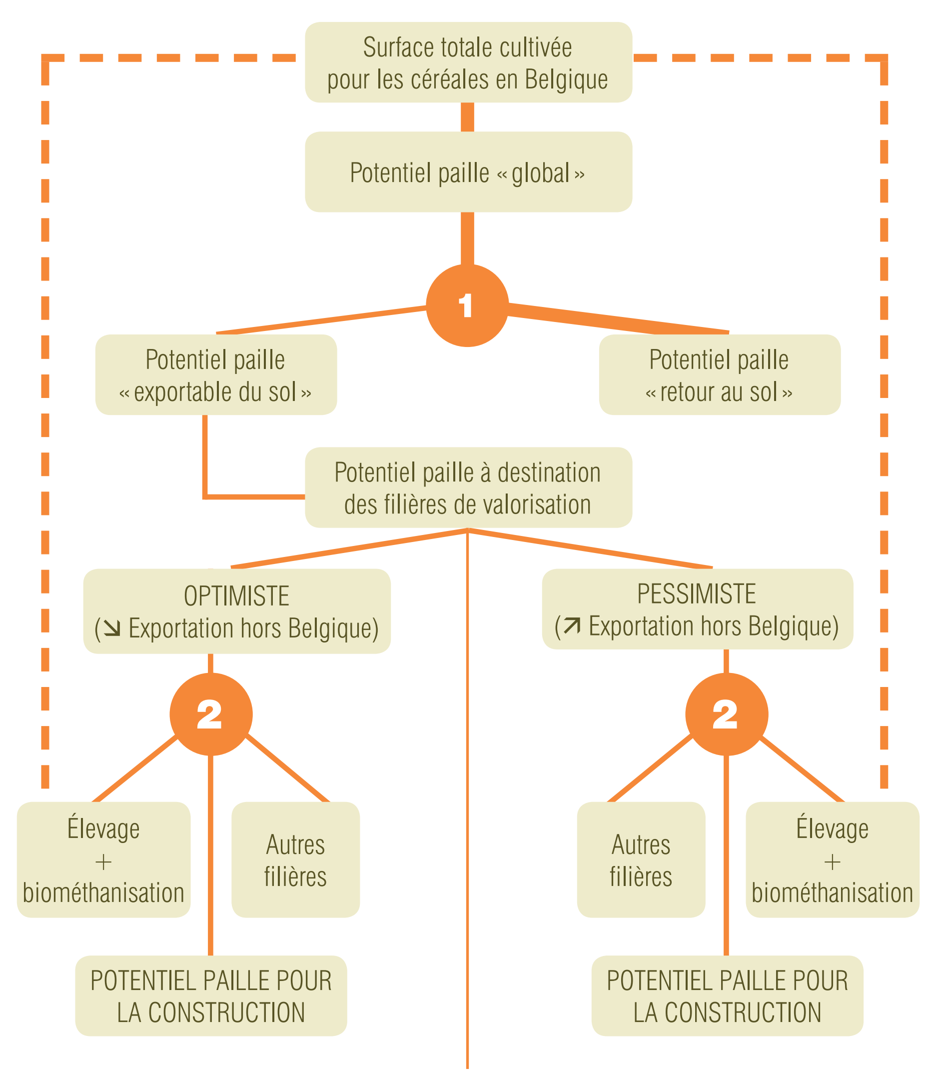


Fig. 60 : Schéma de principe utilisé pour déterminer le potentiel paille pour la construction en Belgique. (1 : coefficient « d'exportation » (33 %), 2 : coefficient « aPROpaille » (de 5 % à 50 %).

Définition du potentiel «paille pour la construction»

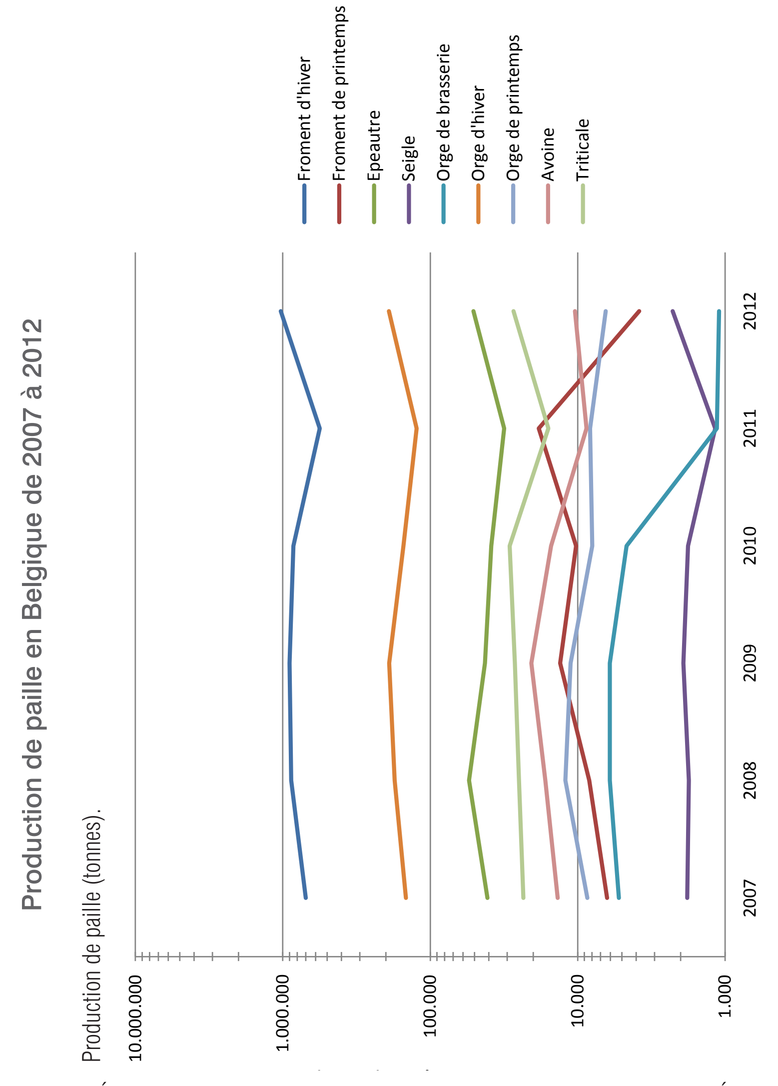


Fig. 61 : Évolution de la production de pailles en Belgique. (Données SPF Économies de 2007 à 2012).

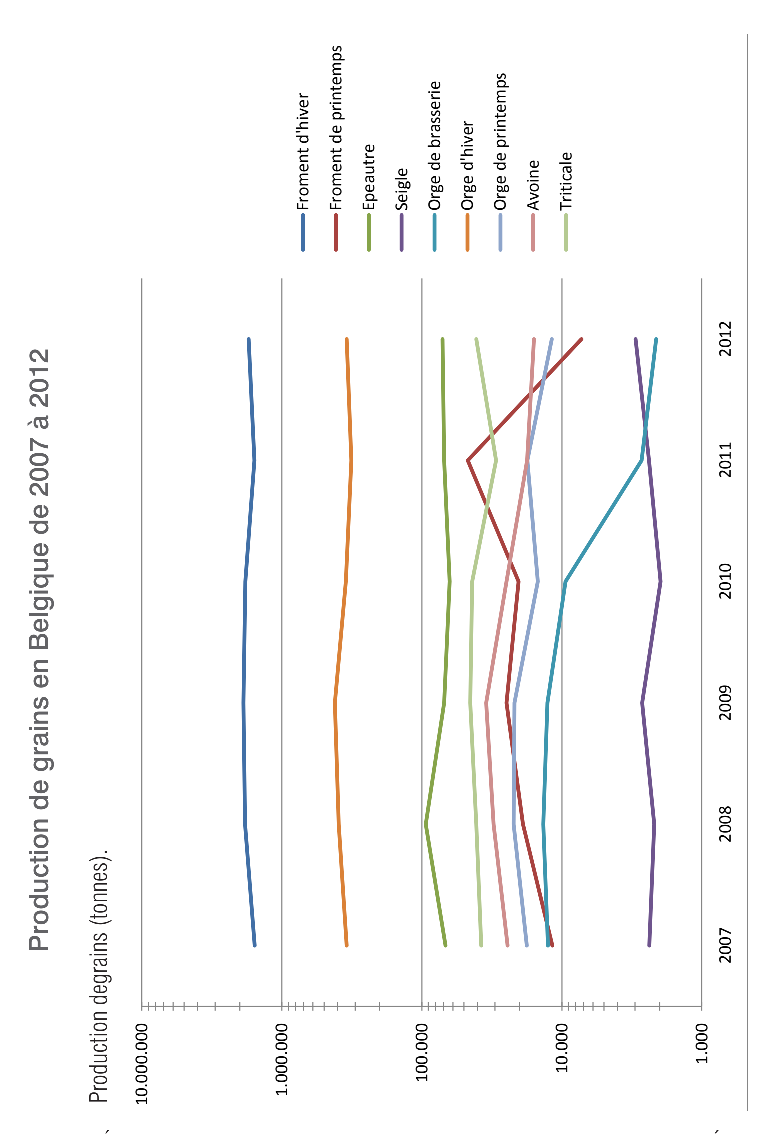


Fig. 62 : Évolution de la production de grains en Belgique (Données SPF Économies de 2007 à 2012).

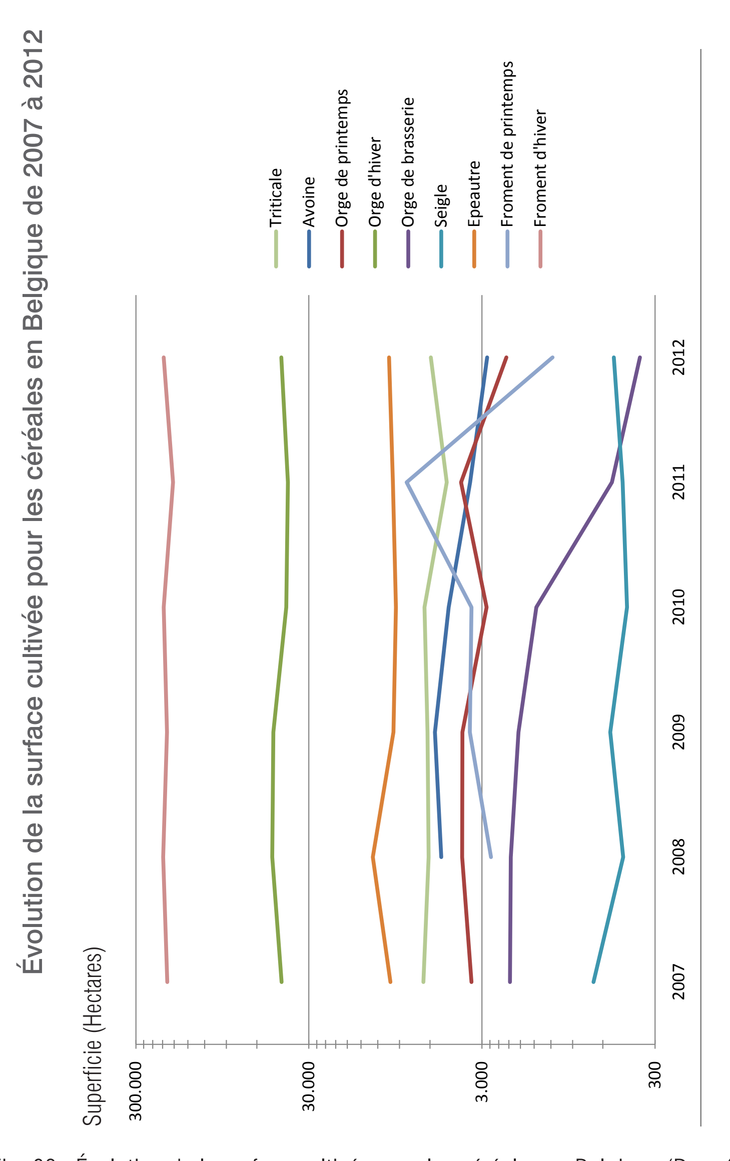


Fig. 63 : Évolution de la surface cultivée pour les céréales en Belgique (Données SPF Économies de 2007 à 2012).

Sur base de données du SPF Économie relatives aux quantités de pailles produites sur une période allant de 2007 à 2012 (estimations chiffrées pour cette dernière année)[16], une sélection a été opérée sur les pailles susceptibles d'intéresser la filière « construction en paille ». Ainsi, la somme des quantités de pailles de froment d'hiver, d'épeautre, de seigle, d'orge d'hiver et de triticale ont permis de définir un potentiel paille « global » de **910 597** tonnes pour **2007**, **1 133 537** tonnes pour **2008**, **1 159 276** tonnes pour **2009, 1 067 457** pour **2010, 733 878** tonnes pour **2011** et une estimation de **1 302 943** tonnes pour **2012**. Les autres types de pailles (orge de printemps, froment de printemps, orge de brasserie et avoine) ne font pas partie de cette étude. En effet, seules sont considérées ici les pailles les plus généralement rencontrées dans le secteur de la construction, bien que les pailles écartées ne présentent pas, à notre connaissance, d'inconvénients majeurs.

Évolution des productions totales de froment d'hiver, d'épeautre, de seigle, d'orge d'hiver et de triticale de 2007 à 1012.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Production totale de paille (tonnes)	910 597	1 133 537	1 159 276	1 067 457	733 878	1 302 943

Sur ces potentiels paille « globaux » s'appliquera notre premier « coefficient d'exportation » de 33 %, revenant ainsi à considérer que :

- 67 % de la paille produite retournent directement au sol via broyage sur champ lors de la récolte.
- 33 % de la paille produite sont exportés hors sol à destination de diverses filières.

A ce stade, il convient de considérer un élément encore négligé jusqu'à présent ; l'exportation de paille en dehors des frontières belges. Une fois de plus, la difficulté d'obtention de données à jour implique la mise en place de deux scénarios[17] ; un « optimiste » dans lequel une faible quantité

16. SPF Économies - L06-2011-DEF-RESULT-TABFRL-validation_tcm326-186489.xls (consulté le 11/09/2013).

17. Tel que suggéré dans l'étude de MIGNON Christelle, *Agro-combustibles : Analyse de la disponibilité de la paille* – ValBiom asbl - Avril 2011.

de paille est exportée (1 202 tonnes en 2008 – Source : FAO[18]) et un « pessimiste » dans lequel une plus grande quantité de paille est exportée (20 500 tonnes en 2000 – Source : FAO). Ces quantités sont fonction des besoins en paille des pays limitrophes (voire même de l'Europe dans une vision plus large) elles-mêmes dépendantes des conditions climatiques durant la période de croissance des céréales. Vu la rareté de ce type de données, ces deux scénarios d'exportation seront donc identiques chaque année. L'importation de paille est quant à elle négligée. En effet, la volonté de cette étude est de s'intéresser aux capacités de production belges et de suivre la logique d'une construction durable à base de matériaux produits localement. S'approprier une quantité de paille étrangère dans le but de pallier au manque n'est donc pas l'objectif recherché ici.

A ce stade, deux potentiels « paille disponible » sont définis selon des estimations optimistes et pessimistes en ce qui concerne les exportations hors du territoire belge. La dernière étape consistera à appliquer le coefficient « aPROpaille » qui de par son champ d'action relativement large permettra de définir le potentiel paille directement allouable à la construction en paille en tenant compte des besoins des autres filières mais également de la possibilité d'intégrer de façon indirecte des variations dans les quantités d'exportation hors Belgique.

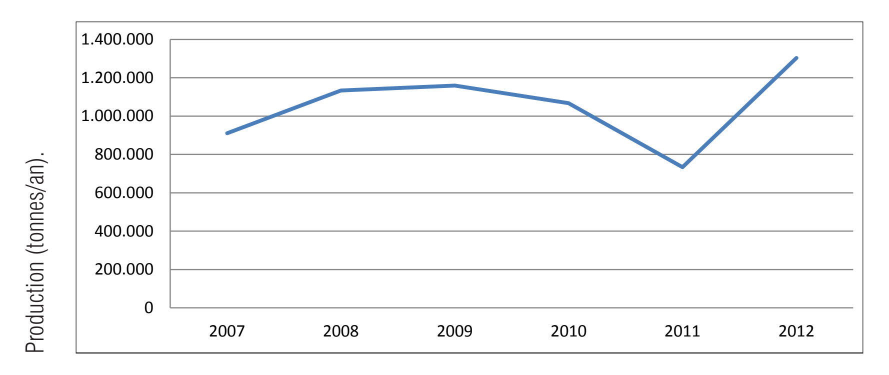


Fig. 64 : Évolution de la production totale de paille de 2007 à 2012 selon des données du SPF Economie (Pailles de froment d'hiver, orge de printemps, épeautre, seigle et triticale).

18. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

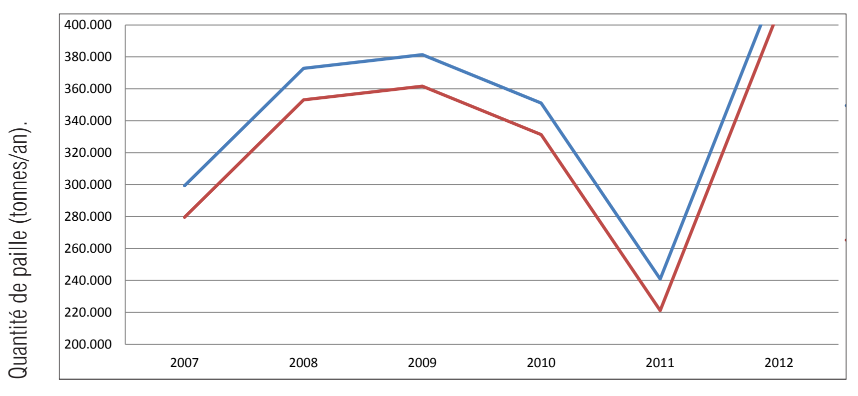


Fig. 65 : Évolution de la quantité de paille disponible après le retour au sol (66 % de la paille) et l'exportation hors Belgique (valeurs variables selon deux scénarios).

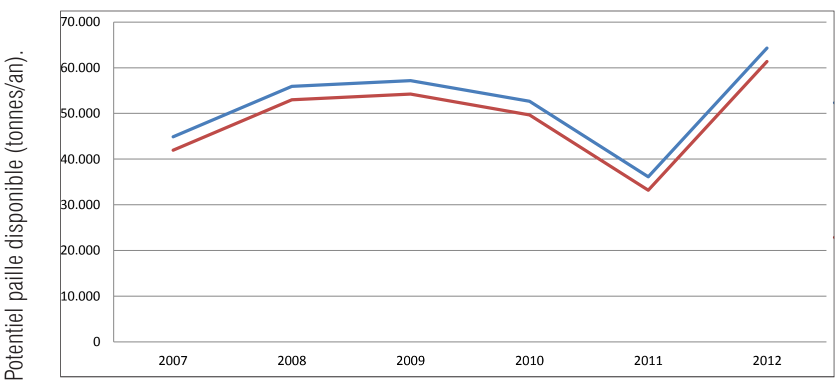


Fig. 66 : Évolution du potentiel paille disponible pour la construction (coefficient aPRO-paille de 15 %).

Dans les exemples illustrés ci-dessus, un coefficient « aPROpaille » de 15 % a été utilisé. Cela signifie donc que ;

- 85 % de la paille exportée des champs (après considération de l'exportation hors du territoire belge) est valorisable dans des filières comme l'élevage, la production d'énergie, les biomatériaux, …
- 15 % de la paille exportée des champs (après considération de l'exportation hors du territoire belge) est valorisable dans le secteur de la construction en paille.

Selon cette hypothèse et pour chacun des scénarios, une moyenne des quantités de paille dégagée pour le secteur de la construction est calculée. Ainsi, **51 858** tonnes de paille sont disponible dans le cas d'un scénario optimiste moyen, contre **48 893** tonnes dans le cas d'un scénario pessimiste moyen, chacun couvrant les années **2007 à 2012** (estimé). La différence de 2 965 tonnes entre ces deux scénarios peut sembler ridicule, mais nous verrons plus tard que selon la configuration, cet écart peut être décisif pour 451 habitations unifamiliales moyennes.

Sur base des données issues de la variation du coefficient « aPROpaille » et des quantités de paille nécessaires à la réalisation d'une habitation moyenne en Belgique, il sera possible de déterminer la quantité de paille nécessaire à la réalisation de X bâtiments ou, inversement, de connaitre le nombre de bâtiments réalisables avec un maximum de X tonnes allouables annuellement au secteur de la construction.

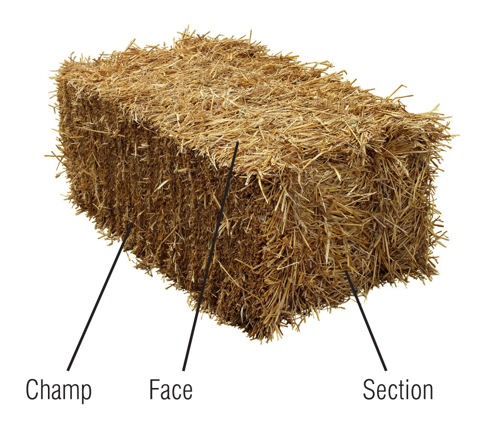
Quantités de paille nécessaire pour une habitation

Définir un modèle type d'habitation pour cette étude s'est avéré être problématique de par la multitude de configurations existantes dans les nouvelles constructions en Belgique ; habitations mitoyennes à deux ou trois façades, villa 4 façades, logements multi-résidentiels, bâtiments tertiaires de grande ampleur,… A la vue des différents cas possibles, il fut nécessaire d'établir un modèle d'habitation moyenne permettant d'obtenir une surface de parois isolées relativement proche de la réalité. Sur base des données du SPF Economies[19], une habitation « moyenne » (4 façades et 2 niveaux) d'une surface habitable de 110 m² a donc été utilisée pour l'analyse suivante.

19. Source : http://statbel.fgov.be/fr/statistiques/chiffres/economie/construction_industrie/permis/ - Données du 17/07/2013 – Une moyenne sur les années étudiées renseigne une surface habitable moyenne par logement de 110 m².

Les méthodes d'isolation en ballot de paille sont nombreuses et variées mais peuvent être résumées en trois principes du point de vue du ballot de paille. Les valeurs d'isolation renseignées ci-dessous tiennent compte des mesures de conductivités thermiques réalisées en début de recherche et peuvent légèrement différer de celles communiquées dans le Vadémécum 2. En effet, ces dernières résultent de tests plus précis et utilisant des protocoles différents.

- Soit celui-ci est placé face vers l'intérieur (les ficelles sont visibles depuis l'intérieur) pour une surface effective de +/- 0,368 m² sur 36 cm et une résistance thermique de 4,97 (m²K)/W ou une valeur U de 0,201 W/(m²K) en considérant la paille uniquement.
- Soit celui-ci est placé champ vers l'intérieur (les ficelles sont invisibles depuis l'intérieur) pour une surface effective de +/- 0,288 m² sur 46 cm et une résistance thermique de 6,34 (m²K)/W ou une valeur U de 0,158 W/(m²K) en considérant la paille uniquement.



- Soit celui-ci est placé section vers l'intérieur (le ballot est placé dans sa longueur dans l'épaisseur de la paroi) pour une surface effective de +/- 0,166 m² sur 30 cm[20] d'épaisseur et une résistance thermique de 5,66 (m²K)/W ou une valeur U de 0,177 W/(m²K).

---

20. En plaçant le ballot dans le sens de la longueur, il est plus facile de faire varier l'épaisseur de la paroi. Il est donc envisagé ici une épaisseur d'isolant similaire à celles rencontrée dans les nouvelles constructions performantes d'un point de vue énergétique.

Sur cette base, un nombre de ballots nécessaires peut être déterminé par m² de paroi.

- 2,72 ballots par m² de paroi seront nécessaires dans le cas de ballots posés face vers l'intérieur, soit 3 ballots par m² consommés par le bâtiment.
- 3,47 ballots par m² de paroi seront nécessaires dans le cas de ballots posés champ vers l'intérieur, soit 4 ballots par m² consommés par le bâtiment.
- 6,04 ballots par m² de paroi seront nécessaires dans le cas de ballots posés section vers l'intérieur, soit 7 ballots par m² consommés par le bâtiment.

Données relatives au choix de la mise en œuvre du ballot.

Mise en œuvre	Surface effective [m²]	Épais-seur [m]	Résistance thermique [(m²K)/W]	Valeur U [W/(m²K)]	Longueur du ballot [m]	Masse du ballot [kg][21]
Face vers l'intérieur	0,368	0,36	4,97	0,201	0,8	15,00
Champ vers l'intérieur	0,288	0,46	6,34	0,158	0,8	15,00
Section vers l'intérieur	0,166	0,30	5,66	0,177	0,3	5,63

Quantité de paille nécessaire en fonction du choix de la mise en œuvre du ballot.

Mise en œuvre	Nbre de ballots par m² de paroi [-]	Quantité de paille consommée par le bâtiment par m² de paroi [kg]
Face vers l'intérieur	2,72 (soit 3 ballots)	40,76 (soit 3 x 15kg = 45 kg)
Champ vers l'intérieur	3,47 (soit 4 ballots)	52,08 (soit 4 x 15kg = 60 kg)
Section vers l'intérieur	6,04 (soit 7 ballots)	33,97 (soit 7 x 5,625kg = 39 kg)

21. Fonction de la densité lors du pressage. Ici, données pour une densité approximative de 113 kg/m³.

L'habitation moyenne décrite ci-dessus est définie comme suit :

- 110 m^2 de surface habitable, soit 55 m^2 par étage.
- Construite sur base d'un rectangle de surface (A = c * 2c) elle offre un périmètre total de 74,16 m pour les deux étages.
- En considérant une hauteur de mur de 2,5 m, 185,40 m^2 de parois verticales sont nécessaires à la construction de cette habitation.
- En posant l'hypothèse que 10 % de cette surface est occupée par les ouvertures (châssis, vitrages et panneaux), **166,86** m^2 de parois verticales seront réellement isolées en paille.
- Du point de vue de la toiture, pour couvrir une surface de 55 m^2 en intégrant une pente de 35°, **67,14** m^2 de parois isolées supplémentaires seront nécessaires.

A ce stade, et afin de simplifier les choses, il est considéré que la totalité des parois décrites ci-dessus sont isolées en ballot de paille (soit les murs et la toiture). Ainsi,

- Pour une isolation murs + toiture : **234** m^2 de parois sont à isoler.

Soit, suivant l'ensemble des hypothèses émises ci-dessus ;

- 668 + 269 = **937** ballots posés **champ** vers l'intérieur pour l'isolation des **murs et de la toiture**, soit **14,06 tonnes de paille**.
- 501 + 202 = **703** ballots posés **face** vers l'intérieur pour l'isolation des **murs et de la toiture,** soit **10,55 tonnes de paille**.
- 1 169 + 470 = **1 639** ballots posés **section** vers l'intérieur pour l'isolation des **murs et de la toiture**, soit **9,22 tonnes de paille**.

Nombre de ballots nécessaires pour l'isolation des murs et de la toiture d'une habitation unifamiliale moyenne selon le sens de pose du ballot		
Ballot face vers intérieur	Ballot champ vers intérieur	Ballot section vers intérieur
703	937	1 639

Le potentiel «paille pour la construction»

Selon l'ensemble des hypothèses émises dans les points précédents et les calculs qui en découlent, il est à présent possible de déterminer le nombre de bâtiments réalisables sur base d'un potentiel «paille pour la construction» qui sera fonction du coefficient «aPROpaille» utilisé. Dans le cadre de la recherche, l'impact de la variation de ce coefficient a été étudié lorsqu'il varie de 5 % à 50 %. La raison de ce choix est expliquée comme suit ;

- Un coefficient «aPROpaille» de 5 % correspond à la quantité de paille minimum que le secteur de la construction peut espérer obtenir après que les besoins des autres filières (élevage, production d'énergie, ...) aient été couverts[22].
- Un coefficient «aPROpaille» de 50 % signifie que le secteur de la construction en paille s'approprie la moitié des quantités de paille exportée des sols. Ce scénario est «extrême» dans le sens où après avoir couvert les besoins de la filière élevage, il reste peu ou pas de ressources pour les autres filières.

Il n'a pas été jugé nécessaire d'aller au-delà d'un coefficient « aPROpaille » de 50 % car d'une part le secteur de la construction ne doit pas s'approprier la totalité des ressources en paille disponibles et, d'autre part, avec un coefficient de 50 %, il est déjà possible de répondre à la totalité de la demande du secteur de la construction dans certains cas bien précis, comme le démontre les points suivants.

Ratio aPROpaille	Quantité de paille disponible pour le secteur de la construction	Nombre d'habitation moyenne pouvant être isolée en paille (murs et/ou toiture)
5 %	De 16 000 à 17 000 tonnes	De 1 150 à 2 600 habitations
10 %	De 32 500 à 34 500 tonnes	De 2 300 à 5 200 habitations
15 %	De 49 000 à 52 000 tonnes	De 3 400 à 7 800 habitations
20 %	De 65 000 à 75 000 tonnes	De 4 600 à 10 500 habitations
25 %	De 81 500 à 86 500 tonnes	De 5 800 à 13 100 habitations
30 %	De 98 000 à 104 000 tonnes	De 6 900 à 15 700 habitations

22. Information obtenue de Mr. Bernard Bodson, professeur à la faculté de GEMBLOUX AGRO BIO TECH de l'ULG.

Ratio aPROpaille	Quantité de paille disponible pour le secteur de la construction	Nombre d'habitation moyenne pouvant être isolée en paille (murs et/ou toiture)
35 %	De 114 000 à 121 000 tonnes	De 8 100 à 18 400 habitations
40 %	De 130 000 à 138 000 tonnes	De 9 200 à 21 000 habitations
45 %	De 147 000 à 156 000 tonnes	De 10 400 à 23 600 habitations
50 %	De 163 000 à 173 000 tonnes	De 11 500 à 26 200 habitations

Des graphismes et tableau ci-dessous il est possible de déterminer le nombre d'habitations moyennes pouvant être isolées par l'usage de ballots de paille dans les murs et/ou la toiture. Les différents scénarios utilisés tiennent compte du type de paroi isolée mais également du sens de pose du ballot. Les performances thermiques de la paroi varient alors d'une valeur « U » de 0,158 W/(m².K) à 0,177 W/(m².K) avec respectivement 46 cm et 30 cm d'épaisseur de paille.

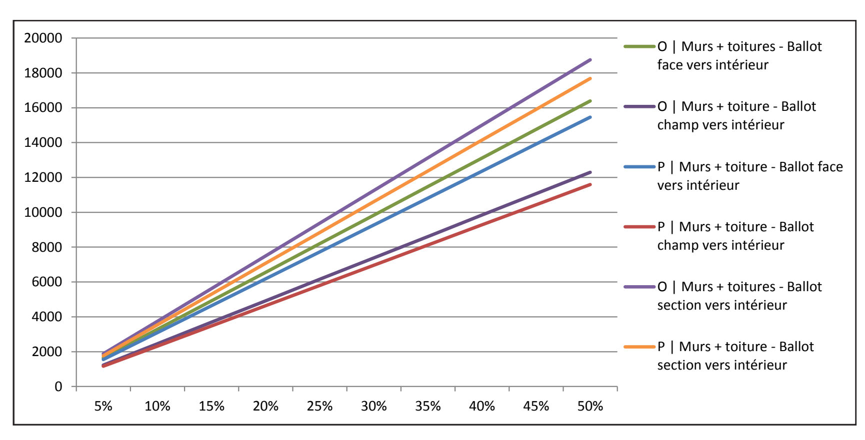


Fig. 67 : Graphique du nombre de bâtiments neufs en paille réalisables en Belgique en fonction du coefficient « aPROpaille ».

Le taux de couverture de bâtiments neufs

Dans le but de déterminer le taux de couverture de bâtiments neufs construits chaque année en Belgique par la paille dégagée via le coefficient « aPROpaille », il fut nécessaire d'associer l'habitation moyenne décrite auparavant à une statistique disponible de source officielle. De récentes estimations du SPF Economie ont permis de déterminer le nombre de

permis d'urbanisme octroyés au cours des années 2007 à 2012 pour des « bâtiments avec un logement[23] ». Il apparait que la recherche se positionne du côté de la sécurité s'il est considéré que l'ensemble de ces « bâtiments avec un logement » correspondent tous à des villas 4 façades auxquelles l'habitation moyenne fait référence. Les surfaces isolées étant ainsi surestimées (certains de ces bâtiments sont mitoyens), les résultats finaux reflèteront la situation minimum que l'on peut rencontrer en Belgique.

Les données du SPF Economies sont donc les suivantes ;

	Année					
Donnée	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Nombre de bâtiments avec un logement :	23 841	24 313	21 680	24 146	20 948	21 962

Sur base de ces valeurs et de celles issues du point précédent, de nouvelles données peuvent être générées. Celles-ci exprimeront le pourcentage de bâtiments neufs en paille réalisables en Belgique sur base du potentiel paille obtenus par variation du coefficient « aPROpaille ». Par soucis de clarté, seules les extrêmes seront exprimées via ces tableaux, soit ;

- L'année 2011 et ses 20 948 bâtiments avec un logement.
- L'année 2008 et ses 24 313 bâtiments avec un logement.

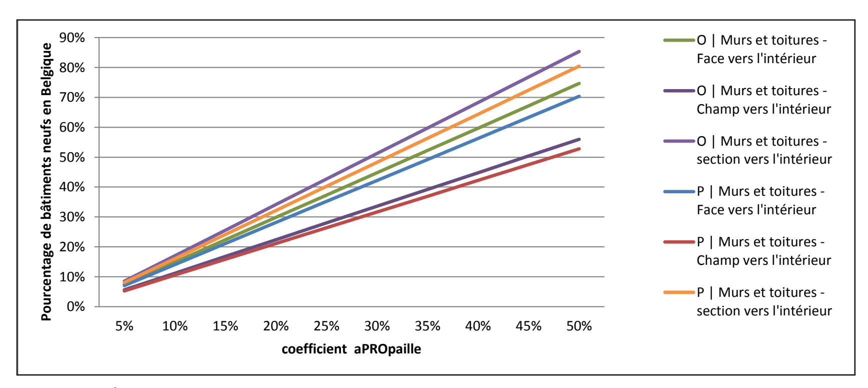


Fig.68 : Évolution du taux de couverture du nombre de bâtiments neufs en fonction du coefficient aPROpaille (Données pour l'année 2011 en Belgique).

23. Source : http://statbel.fgov.be/fr/statistiques/chiffres/economie/construction_industrie/permis/ - Données du 17/07/2013.

La réalisation de calculs similaires pour chacune des années n'aboutissant pas sur des différences significatives vu les « faibles » variations du nombre de bâtiments à un logement, les résultats ont été exprimés sous la forme de trois tableaux récapitulatifs. Pour chacun d'entre eux, les coefficients « aPROpaille » précédemment étudiés (5 %, 25 % et 50 %) ont permis de définir un nombre de bâtiments minimum et maximum réalisables selon le potentiel « paille pour la construction » dégagé. Pour la période allant de 2007 à 2012, ces minima et maxima sont comparés aux nombre de bâtiments à un logements construits. Ce calcul permet alors de connaitre le taux de couverture du nombre de bâtiments à un logement pour les années 2007 à 2012 et selon les trois coefficients « aPROpaille » 5 %, 25 % et 50 %.

Taux de couverture du nombre de bâtiments à un logement pour les années 2007 à 2012 et un coefficient « aPROpaille » de 5 %.

	Bâtiments	Année					
		2007	2008	2009	2010	2011	2012
		23 841	24 313	21 680	24 146	20 948	21 973
Minimum	1 159	5 %	5 %	5 %	5 %	5 %	5 %
Maximum	2 628	11 %	11 %	21 %	11 %	13 %	12 %
Moyenne	1 844	8 %	8 %	9 %	8 %	9 %	8 %

Taux de couverture du nombre de bâtiments à un logement pour les années 2007 à 2012 et un coefficient « aPROpaille » de 25 %.

	Bâtiments	Année					
		2007	2008	2009	2010	2011	2012
		23 841	24 313	21 680	24 146	20 948	21 973
Minimum	5 797	24 %	24 %	27 %	24 %	28 %	26 %
Maximum	13 143	55 %	54 %	61 %	54 %	63 %	60 %
Moyenne	9 226	39 %	38 %	43 %	38 %	44 %	42 %

Taux de couverture du nombre de bâtiments à un logement pour les années 2007 à 2012 et un coefficient « aPROpaille » de 50 %.

	Bâti-ments	Année					
		2007	2008	2009	2010	2011	2012
		23 841	24 313	21 680	24 146	20 948	21 973
Minimum	11 595	49 %	48 %	53 %	48 %	55 %	53 %
Maximum	26 287	110 %	108 %	121 %	109 %	125 %	120 %
Moyenne	18 453	77 %	76 %	85 %	76 %	88 %	84 %

Il est intéressant de constater que dans le cas où la filière « construction en paille » s'approprierait 25 % des ressources en paille exportables du sol (75 % sont donc toujours allouables aux autres filières de valorisation), il serait possible de couvrir plus de la moitié des constructions neuves individuelles en Belgique. Seuls les murs de ces bâtiments seraient alors isolés au moyen de ballots en paille posés section vers l'intérieur pour une épaisseur de parois de 30 cm et une valeur $U_{isolant}$ de 0,177 W/m².K, chose qui n'est techniquement pas encore possible à l'heure actuelle.

Dans le cas où la filière « construction en paille » s'approprierait la moitié des ressources en paille exportables du sol (coefficient « aPROpaille » de 50 %), il serait alors possible de couvrir plus de la totalité des constructions neuves individuelles en Belgique selon les hypothèses de mise en œuvre et de performances thermiques identiques au cas précédent. Cette possibilité n'est pas si utopique que cela si on considère les hypothèses du projet de recherche « ALT-4-CER » mené actuellement par le CRA-W selon lesquelles à l'horizon 2050, afin de remplir ses objectifs Kyoto, la Belgique devra réduire sa consommation de viande bovine, libérant ainsi des surfaces cultivables autrefois dédiées à la production d'aliment pour la chaine alimentaire animale. Dans l'optique de développer une filière « production de paille pour la construction », une certaine quantité de ces surfaces libérées pourraient servir à la production de paille, non plus pour l'élevage mais pour la construction. Le coefficient « aPROpaille » pourrait alors glisser vers des valeurs proches des 50 %. Cette hypothèse est bien entendu à analyser en profondeur et à comparer tant aux besoins des autres filières qu'à l'évolution de la qualité des sols.

CONCLUSION

En réponse aux discours tenus dans le monde de la construction en paille, cette étude n'aura pas la prétention de se positionner comme une réponse définitive et exhaustive. Les limites soulevées lors de la définition des hypothèses et la présentation des résultats permettent d'identifier clairement le côté « estimatif » de ce travail. Toutefois, pour la première fois en Belgique, le potentiel « paille pour la construction » est plus clairement défini et ses impacts sur le secteur de la construction s'en retrouve plus précis. Ainsi, l'habitation moyenne définie dans cette étude permet de situer les résultats de manière relativement prudente par rapport à la réalité du terrain en surestimant les surfaces à isoler au moyen du potentiel paille en question.

En outre, et avec toutes les précautions nécessaires à l'interprétation et l'acceptation des hypothèses de départ, il est à présent possible d'affiner les discours en citant, par exemple, qu'avec 50 % de la paille exportable des sols (déduction faite des exportations hors de notre territoire) il est en effet possible de couvrir plus de la totalité des bâtiments résidentiels individuels en Belgique. Plus modestement, avec 25 % de cette même paille, il est déjà possible de couvrir 50 % de ces bâtiments. La pertinence de considérer les chiffres annoncées dépendra alors des souhaits en termes de performances thermiques, de surface habitable (cfr. épaisseur des parois), du type de parois à isoler, des méthodes de mise en œuvre des ballots de paille, etc.

Les limites de la présente étude sont facilement identifiables et pourraient faire l'objet d'un approfondissement dans le cadre d'une révision de ce travail. Les pistes de réflexion suivantes pourraient alors être envisagées ;

- Redéfinir le potentiel paille sur base d'une liste exhaustive des pailles acceptées dans la filière « construction en paille » suite à davantage de tests en laboratoire. Ainsi, les pailles d'avoine, de froment de printemps, d'orge brassicole, et d'orge de printemps jusqu'alors ignorées dans l'étude pourrait augmenter les quantités de pailles exportables du sol à destination des filières de valorisation.

- Affiner les scénarios d'exportation sur base de données complémentaires de la FAO voire supprimer ceux-ci dans l'éventualité où la paille représenterait une plus-value aux yeux des agriculteurs si une filière « production de paille pour la construction » venait à se

créer. Cette approche est très sensible du point de vue agricole car elle implique indirectement un impact sur la conservation des sols dans les pays demandeurs.

- Définir plus clairement le coefficient d'exportation des pailles hors des sols. Cet aspect a été longuement discuté avec plusieurs experts du monde agricole sans réellement parvenir à une entente sur la quantité de paille exportable. En effet, les avis divergent sur l'importance de procéder à des exportations de pailles pour des secteurs autres que l'agriculture. Il est probable que ces avis évoluent en fonction des politiques agricoles à venir.

- Définir plus clairement les demandes des autres filières de valorisation de la paille (élevage, production d'énergie, biomatériaux, artisanats…) ceci afin de restreindre les variations du coefficient « aPROpaille » et de cerner plus précisément le véritable potentiel « paille pour la construction ».

Il est cependant important de conserver à l'esprit que ces compléments d'études doivent s'effectuer dans le respect des contraintes liées au monde agricole. Comme définit à de nombreuses reprises dans les vadémécums de la recherche « aPROpaille », la paille reste un coproduit de la culture des céréales et est abondamment utilisée comme apport de matière organique pour la vie des sols.

Sur base de cette réflexion, il serait logique de se questionner sur la pertinence de développer une filière « production de paille pour la construction ». Quelles seraient les contraintes techniques et financières pour les agriculteurs participants à cette filière ? Quels impacts sur l'évolution de la qualité des sols ? Quels impacts sur les disponibilités en paille pour l'agriculture et l'évolution du coût de celle-ci ?

Les mises en place d'autres filières de valorisation se doivent donc d'intégrer en priorité les besoins du monde agricole avant de considérer leurs propres politiques de développement.

POUR ALLER PLUS LOIN …

La paille face à la réalité du terrain

Une des limites de la présente étude est sans nul doute la possibilité de pouvoir comparer les résultats obtenus à des situations réelles. Si l'habitation moyenne telle que définie dans ce document ne s'éloigne pas réellement de la réalité du terrain dans le cas d'habitation unifamiliales « 4 façades », elle devient rapidement inadaptée lorsque l'on considère le nombre d'habitations mitoyenne à 2 ou 3 façades en contact avec l'extérieur construites chaque année. Afin d'offrir une alternative à cette unité moyenne, le tableau ci-dessous présente les résultats sous la forme de surfaces de parois pouvant être isolées à l'aide du potentiel paille dégagé grâce au coefficient « aPROpaille ». Ces surfaces de parois varient non seulement selon ce coefficient mais également selon les techniques de mise en œuvre des ballots de paille.

Ratio aPROpaille	Surfaces de parois pouvant être isolées en ballots de paille (x 10^5 m^2)
5 %	De 2,7 à 4,4
10 %	De 5,4 à 8,8
15 %	De 8,2 à 13,2
20 %	De 10,9 à 17,6
25 %	De 13,6 à 22
30 %	De 16,3 à 26,3
35 %	De 19 à 30,7
40 %	De 21,7 à 35,1
45 %	De 24,4 à 39,5
50 %	De 27,2 à 44

De tels résultats seront certainement plus utiles dans l'éventualité où des pouvoirs décideurs souhaiteront établir le potentiel « paille pour la construction » face à la réalité du secteur de la construction dans notre pays.

Valorisation énergétique de la paille

Dans l'optique d'offrir des pistes de réflexion supplémentaires, une analyse comparative de l'utilisation de la paille en Belgique a été réalisée. En effet, avec un développement croissant de filières exploitant les ressources agricoles, il apparait intéressant de se questionner sur la cohérence de l'utilisation des différentes valorisations possibles. Ainsi, l'analyse suivante se penche sur le cas de l'utilisation de la paille comme agro-combustible dans des filières industrielles en comparaison à une utilisation comme matériau d'isolation thermique dans la construction.

Le pouvoir calorifique inférieur de la paille est de 14,4 MJ/k[24]. Ce qui signifie que 4 kWh d'énergie sont dégagés lors de la combustion d'un kilo de paille.

A présent, considérons l'utilisation de cette paille dans la construction, et plus précisément dans la rénovation. Le parc immobilier belge regorge encore de bâtiments énergivores, constitués de toitures et de murs pleins non isolés.

En considérant un mur plein en brique de 27 cm d'épaisseur, la valeur « U » de ce dernier peut être estimée à **2,9 W/(m².K)**[25]. Si on isole ce mur grâce aux ballots de paille, en 36 cm d'épaisseur et en les plaçant à la verticale ficelle vers l'intérieur, la valeur « U » de cette paroi passe à **0,18 W/(m².K)**[26].

A présent, estimons le gain d'énergie réalisé sur la durée de vie d'une telle amélioration en se concentrant uniquement sur les déperditions thermiques à travers la paroi. La durée de vie théorique de l'amélioration est supposée être de 50 ans. La température extérieure moyenne sur la saison de chauffe en Wallonie est estimée à 6 °C [$T°_{ext}$] et la température intérieure moyenne sur cette même période à 15 °C [$T°_{int}$][27]. La durée de la période de chauffe est esti-

24. Source : www.gembloux.ulg.ac.be/pt/LBfev2006/PB/Grains%20et%20paille%20combustible.pdf.

25. Valeur calculée selon le logiciel PEB 4.0.

26. Valeur calculée selon le logiciel PEB 4.0.

27. Source : Energie+ : 20 °C de température de consigne, desquels sont soustraits 2 °C de réduction pour l'intermittence (nuits et w-e) et 3 °C pour les apports internes et solaires.

mée à 5 400 heures/an [$T_{chauffe}$]. Le bilan déperditif des deux parois s'effectue selon la formule suivante :

$$Q_{paroi}\ [kWh/m^2] = \frac{U_{paroi} \times (T°_{int} - T°_{ext}) \times T_{chauffe}}{1\ 000}$$

Le résultat de ce calcul donne une déperdition thermique de :

- 140,9 kWh/m².an pour la paroi en brique pleine non isolée, soit **7 047 kWh/m² sur 50 ans**.
- 8,7 kWh/m².an pour la paroi en brique pleine isolée grâce à la paille, soit **437,4 kWh/m² sur 50 ans.**

L'énergie économisée sur 50 ans est donc de **6 609,6 kWh/m² de paroi**. Pour isoler un m² de cette paroi avec 36 cm de paille (densité du ballot 113 kg/m³), il aura fallu ~ 41 kg de paille. L'économie d'énergie citée ci-dessus et ramenée à l'échelle d'un kilo de paille équivaut donc à **162 kWh/kg de paille**.

En comparaison à l'énergie dégagée lors de la combustion de la paille (4 kWh/kg) et en considérant le fait que cet événement est « unique » (une fois la paille brulée, elle n'est plus exploitable énergétiquement parlant), il y'a un **facteur 40** entre l'économie d'énergie réalisée grâce à l'utilisation de la paille dans la construction et la production d'énergie via combustion de cette même paille.

Pour aller encore plus loin, on pourrait considérer l'énergie dégagée de la combustion de la paille utilisée dans le bâtiment, après la fin de vie de ce dernier. En effet, lors de la démolition du bâtiment, la paille peut être redirigée vers un agriculteur pour utilisation en tant que litière ou vers des filières de traitement des déchets pour une incinération et une transformation de la paille en énergie. Si on choisit la valeur ajoutée en fin de vie, les deux échelles comparatives s'additionnent alors et offrent un potentiel énergétique de 162 + 4 = **166 kWh/kg de paille**.

Valorisation des résultats de la recherche

Il a été présenté, dans les chapitres précédents, que la recherche a permis de mettre en avant une meilleure performance thermique du bal-

lot de paille, lorsque celui-ci est mis en œuvre dans le sens de sa longueur dans l'épaisseur de la paroi (section vers l'intérieur). Cette nouvelle donnée apporte une réflexion sur l'économie de matière réalisable. A titre d'exemple, le graphe ci-dessous indique la quantité de paille nécessaire pour obtenir un $U_{isolant}$ de 0,150 W/(m².K) (valeur recommandée pour le standard passif) selon deux modes de pose du ballot décrits ci-dessous. La paroi est supposée égale à 1 m² et l'épaisseur de l'isolant varie pour atteindre le U cible. Dans le cas 1 (ballot face vers l'intérieur), l'épaisseur de paroi est de 41 cm et la quantité de paille égale à 46,5 kg. Dans le cas 2 (ballot section vers l'intérieur), l'épaisseur de paroi est de 30 cm et la quantité de paille égale à 34 kg. Soit une économie 12,45 kg ou 0,11 m³ de paille par mètre carré de paroi.

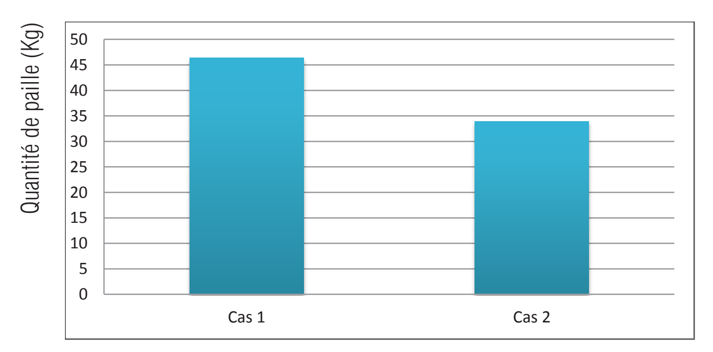


Fig. 69 : Quantité de paille nécessaire pour atteindre un $U_{isolant}$ de 0,150 W/m2.K selon deux modes de pose du ballot de paille (Cas 1 : face vers l'intérieur, Cas 2 : section vers l'intérieur).

Afin de quantifier de manière plus globale l'importance de ce type de résultat, la seconde analyse théorique suivante étudiera l'économie d'énergie réalisée sur base d'une comparaison de deux cas : l'isolation d'une paroi par un ballot de paille posé face vers l'intérieur (Cas 1) pour un $U_{isolant}$ de **0,24 W/(m².K)** ou posé section vers l'intérieur (Cas 2) pour un $U_{isolant}$ de **0,18 W/(m².K).**

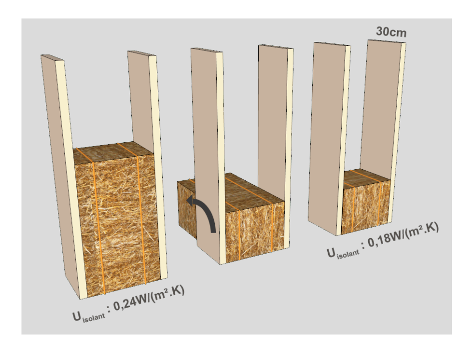


Fig. 70 : Illustration du principe de mise en oeuvre d'un ballot de paille « section » vers l'intérieur. Le ballot est incliné de 90° et sa longueur est réduite pour correspondre à celle de la paroi (Source : Benjamin Biot – ICEDD).

Dans les deux cas, l'épaisseur d'isolant a été considérée égale à 30 cm, ceci afin de correspondre aux épaisseurs d'isolants que l'on peut rencontrer actuellement. Il s'agit donc bien ici d'hypothèses de calcul.

Via l'équation et les hypothèses décrites dans l'analyse précédente, les résultats suivants ont été obtenus :

- Dans le « Cas 1 », la quantité d'énergie perdue à travers cette paroi sur une durée de vie du bâtiment de 50 ans est égale à **583,2 kWh/m² de paroi.**

- Dans le « Cas 2 », la quantité d'énergie perdue à travers la paroi sur la même durée de vie du bâtiment est égale à **437,4 kWh/m² de paroi**.

La différence de déperdition thermique est donc égale à **145,8 kWh/m² de paroi**, sur 50 ans, et ce uniquement en changeant le sens de pose du ballot dans la paroi.

Pour chacun des cas, la quantité de paille mise en œuvre sur le m² de paroi est égale à 39,4 kg de paille. Sur base du résultat précédent, nous pouvons déduire que **3,7 kWh/kg** de paille sont économisés sur 50 ans en modifiant le sens de pose du ballot dans la paroi, soit **0,07 kWh/kg de paille par année**.

A présent, en s'appropriant 15 % des pailles du potentiel paille pour les filières hors agriculture (ratio aPROpaille = 15 %) dans un scénario optimiste (voir chapitres précédents), une moyenne de 51 800 tonnes de paille pourraient être disponibles chaque année pour le secteur de la construction en paille. Un rapide calcul sur base des chiffres cités précédemment permet de déduire que **3 836 MWh/an** seraient économisés chaque année **en modifiant le sens de pose du ballot de paille dans la paroi d'un bâtiment** (0,07 kWh/kg * 51 800 000 kilos de paille).

Dans un scénario où, chaque année pendant **50 ans**, 51 800 tonnes de paille seraient mises en œuvre dans le secteur de la construction, cette économie se chiffrerait à **191 808 MWh** pour la 51e année et celles à venir. En effet, chaque année 51 800 tonnes de paille sont mises en œuvre permettant des économies d'énergie identiques à celles obtenues via la mise en œuvre de cette même quantité de paille les années précédentes. A la 51e année, l'équilibre est atteint ; la paille de la première année est remplacée et un cycle complet est bouclé.

Année	Économie d'énergie annuelle	Unité
Année 1	3 836 160	kWh
Année 2	7 672 320	kWh
Année 3	11 508 480	kWh
...	...	kWh
Année i	Économie i-1 + 3 836 160	kWh
Année 50	191 808 000	kWh
Année 51	191 808 000	kWh

Bien que cette économie totale annuelle ne représente « que » 1 % de la facture annuelle pour le chauffage des appartements et maisons unifamiliales[28], il est intéressant de constater qu'un paramètre aussi inattendu que le changement du sens de pose d'un ballot de paille dans la construction d'un bâtiment puisse provoquer une différence, aussi significative qu'elle soit, sur un élément aussi important qu'est la facture annuelle pour le chauffage des bâtiments résidentiels belges.

28. Source : Bilan énergétique régional 20XX – SPW, DGO4.

Pour aller encore plus loin, il est intéressant de constater que cet impact pourrait se révéler être plus important encore lorsque les objectifs européens seront atteints[29] et que la facture de chauffage en question se verra diminuée de manière conséquente, ou encore en considérant « simplement » un « coefficient aPROpaille » supérieur à 15 %.

29. La réduction des émissions de CO_2 pour le secteur du bâtiment se traduit en partie par une meilleure isolation thermique du parc existant et à venir.